

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN



PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA

JUNIO 2014

JAIME PRIETO ZAPARDIEL

RESUMEN

Con el objetivo de consolidar los conocimientos en Sistemas de Telecomunicación, se pretende diseñar una red para la distribución de servicios avanzados, como televisión, internet de banda ancha y telefonía, mediante el uso de la tecnología FTTH.

La red será totalmente pasiva, óptica, y de gran ancho de banda, Tipo PON (Passive Optical Network), de manera que el haz de luz del emisor se distribuye hacia múltiples fibras siguiendo diferentes direcciones, o las confina en el sentido opuesto usando técnicas WDM y TDMA.

En primer lugar, es preciso realizar un estudio teórico sobre las características de la fibra óptica, junto con las propiedades de los elementos activos y pasivos que interactúan con ella, para poder comprender la tecnología en la que se basa y así ofrecer una solución final acorde a las necesidades que se presenten.

Tras un vistazo general a la tecnología de fibra óptica, se procede a estudiar las características y topologías de las redes de acceso basadas en la misma, junto con los requisitos de cara al diseño de la red y a la gestión de proyectos.

Se definirán los objetivos de la red, ya que la complejidad de la red depende de factores como la extensión y cobertura de la misma, o el ancho de banda. Posteriormente se irá diseñando la red en una arquitectura descendente hasta destinar una única fibra óptica para cada hogar dentro de la cobertura de la red. Se detallarán todas las especificaciones necesarias para definir la red, (potencias, modulaciones y tipos de fibra) así como el instrumental y demás medios necesarios para operar con la misma.

Aunque el diseño de una red FTTH contempla muchos más aspectos de los estudiados en el presente proyecto, se tomó como objetivo el diseño y planificación correspondientes a una sección de un área de escasa población donde la instalación se tomó como viable, obviando así pequeños detalles y centrándose en el despliegue de fibra óptica.

Se pretende así ofrecer una solución de infraestructura doméstica de telecomunicaciones, apta para las futuras necesidades que implican la creciente demanda de servicios como internet de banda ancha o almacenamiento y procesamiento de aplicaciones en nube. La fibra óptica tiene mucho que ofrecer a las telecomunicaciones, y cada vez es más frecuente encontrar redes de fibra óptica como parte de un servicio de telecomunicaciones, tanto como para particulares como empresas.

ABSTRACT

Aiming to strengthen knowledge in Telecommunications Systems, is intended to design a network for advanced services broadcasting, including digital TV, broadband internet and telephony, by using FTTH technology.

This network will be entirely passive optic, and high bandwidth, PON type (Passive Optical Network) so that the transmitter beam is broadcasting to multiple optical fibers, branching out in different ways or joining them in the opposite.

First, it is necessary to perform a theoretical study on the characteristics of the optical fiber, along with the properties of the active and passive elements that interact with it, to understand the technology that is based and offer a final solution according needs that arise.

After an overview of the optical fiber technology, we proceed to study the characteristics and topologies access networks based on that, together with the requirements to face the network design and project management.

System objectives will be determined, since the complexity of the network depends on factors such as the size and scope of it, or bandwidth. Later, the network will be designing in downstream architecture to deliver a single optical fiber to each household within the network area. All necessary specifications to define the network (power, modulation and fiber types) will be determined, as instruments and other means to operate it.

Although FTTH network design includes many more aspects of those studied in this project, it was taken as objective the network design and planning corresponding to a section of a sparsely populated area where the facility was taken as feasible thus obviating small details and focus on the deployment of optical fiber.

This is intended to provide a solution of household telecommunications infrastructure suitable for future needs involving the growing demand for services such as broadband internet or processing storage and cloud applications. The optical fiber has much to offer to telecommunications, and it is increasingly common to find fiber optic networks as part of a telecommunications service, both to individuals and businesses.

Introducción

Es del todo patente que las redes de fibra óptica tienen un potencial descomunal para las infraestructuras de comunicaciones. Desde su descubrimiento, hace más de 50 años, la fibra óptica ha continuado mejorando y evolucionando. Pero no ha sido hasta hace poco, cuando esta tecnología se convirtió en una alternativa económica y viable para la difusión de los servicios más comunes en el bucle de abonado, como el Triple Play, Internet de banda ancha y televisión digital.

En este proyecto se desarrolla la planificación y el diseño de una red de acceso (o al menos una sección de la misma) que sustituye al ya antiguo bucle de abonado, para suministrar servicios básicos como teléfono e internet de banda ancha, y otros servicios más específicos como televisión digital por cable o procesado en nube de aplicaciones específicas.

El presente proyecto consta de cuatro capítulos:

- En el capítulo I se recuerdan los fundamentos de las redes de fibra óptica, esto es, la composición y características técnicas de la misma y de sus dispositivos afines. Además y a modo de introducción, se incluye un apartado dedicado a la historia de la fibra óptica, describiendo sus orígenes y su evolución desde que fue descubierta. Para concluir se introduce un breve análisis de su situación actual en el mercado de las telecomunicaciones.
- El capítulo II pospone el estudio de la fibra óptica para presentar una visión más general de las redes de acceso, analizando aspectos comunes de las mismas. Ciertos conceptos y procedimientos técnicos relacionados con las redes de acceso resultan críticos para procurar un buen diseño y planificación de la misma y deben estudiarse con detalle.
- El capítulo III explica el procedimiento de instalación de una red de acceso basada en fibra óptica. Además de la técnica de montaje de cables y dispositivos, se añaden ciertos aspectos prácticos que resultan útiles para la fase de despliegue, como las recomendaciones de instalación en interiores, o las características que debe reunir el emplazamiento de un nodo de alimentación.

- El capítulo IV concluye con el diseño y la instalación de una red de acceso de fibra óptica. El capítulo comienza con una breve descripción donde se expone el objetivo del diseño, tras lo cual, explica la solución adoptada para tal fin. El diseño incluye los criterios de división y ramificación de la fibra, junto con el conexionado de la fibra a cada finca, planos, un cronograma con la duración aproximada, y hasta un presupuesto, basado en el coste estimado que tendría un proyecto de tal envergadura.
- Finalmente, las conclusiones del proyecto. Capítulo donde se reflexiona y se extraen las consideraciones finales tras terminar con el desarrollo de la red de acceso. En él se analizan los conceptos destacando los aspectos más particulares del proyecto.

Tras el último capítulo, se incluye al final un anexo que recoge solo algunos de los planos del diseño de las fincas, para evitar la redundancia, y un apartado mostrando la bibliografía consultada para citar el contenido.

ÍNDICE

Resumen	1
Índice.....	3
Capítulo I Fundamentos de las redes de fibra	5
1.1. Introducción	5
1.2. Fibra óptica	6
1.2.1. Fibra monomodo	8
1.2.2. Fibra multimodo.....	8
1.3. Otros elementos presentes en una red de fibra	10
1.3.1. Empalmes y conectores	10
1.3.2. El divisor óptico (<i>splitter</i>).....	11
1.3.3. Amplificadores	12
1.3.4. Cajas de empalme.....	13
1.3.5. Transmisores ópticos	14
1.3.6. Receptores ópticos.....	15
1.4. Comunicaciones por Fibra Óptica.....	16
1.4.1. Enlaces: Punto a punto	16
1.4.2. Difusión: Punto a multipunto.....	17
1.5. Estándares sobre redes de fibra óptica	18
1.6. Historia de las redes de fibra óptica.....	20
Capítulo II - Características y fases de despliegue de una red de acceso de fibra óptica.....	23
2.1. Datos de partida en el diseño de la red	23
2.1.1. Jerarquía de la red	23
2.1.2. Cuestiones legales y derechos de propiedad.....	25
2.1.3. Estudios de mercado.....	26
2.1.4. Planificación del proyecto	27
2.2. Diseño.....	28
2.2.1. Elección de los materiales	28
2.2.2. Balance del enlace.....	31
2.2.3. Replanteo	33
2.3. Comienzo de las obras	34

Capítulo III - Técnicas de montaje de una red de acceso.....	36
3.1. Tipos de urbes para el despliegue	36
3.1.1. Grandes urbes	37
3.1.2. Zonas residenciales	37
3.1.3. Zonas de escasa población	38
3.2. Tipos de edificaciones	39
3.2.1. Bloques de viviendas	39
3.2.2. Viviendas unifamiliares.....	42
3.3. Técnicas de despliegue.....	43
3.3.1. Cable enterrado	43
3.3.2. Instalación de cables en conductos	46
3.3.3. Tendido de cable aéreo	49
3.3.4. Instalación de interior	51
3.3.5. Instalación de nodos	53
3.4. Instalación de dispositivos y empalmes	54
Capítulo IV - Diseño, despliegue e instalación de una red FTTH.....	56
4.1. Objetivos del proyecto	56
4.2. Consideraciones generales de diseño	57
4.2.1. Escenario de despliegue	57
4.2.2. Especificaciones técnicas de la red	58
4.2.3. Otras cuestiones de diseño.....	60
4.3. Planificación y desarrollo del proyecto	60
4.3.1. Cronograma del proyecto	61
4.4. Diseño del proyecto.....	62
4.4.1. Características base de la red.....	62
4.4.2. Replanteo	64
4.4.3. Diseño de la red de distribución a las viviendas	65
4.4.4. Diseño de interior de viviendas unifamiliares	68
4.5. Instalación del proyecto	69
4.5.1. Costes del proyecto	70
Conclusiones	72
Anexo I.....	75
Bibliografía	78

Capítulo I

Fundamentos de las redes de fibra

1.1. Introducción

Desde que se desplegaron las primeras redes de telecomunicación, la tecnología que las define ha ido evolucionando a lo largo de su historia hasta nuestros días para ofrecer servicios de telefonía, televisión e Internet en sus respectivas variantes.

Desde la década de los 90, la creciente demanda de servicios de comunicaciones intensifica la búsqueda de una infraestructura capaz de satisfacer a los usuarios y, al mismo tiempo, ofrecer una garantía de futuro al no volverse obsoleta en poco tiempo. Como producto de esta situación surgió la fibra óptica, que desde principios de siglo no sólo provoca competencia con las redes de cobre sino que se presenta como una solución definitiva ante cualquier futura demanda de ancho de banda por cada abonado; permitiendo de esta forma un volumen de transferencia de datos óptimo tanto para los usuarios habituales como para los menos conformistas.

Hasta hace unos años, estos sistemas de comunicaciones ópticas por fibra se utilizaban exclusivamente como enlaces punto a punto para sustituir los cables metálicos, aprovechando la baja atenuación que presentan las fibras ópticas. En estos sistemas, la señal óptica se restringía a la capa física del sistema, realizándose todo el procesamiento de señal en el dominio electrónico. Sin embargo, la revolución que ha supuesto el desarrollo de la Sociedad de la Información y la incesante demanda de un mayor ancho de banda a un menor precio ha llevado a la necesidad de una mayor capacidad de red, constituyéndose la fibra óptica como principal candidato para satisfacer esta demanda.

De esta forma, se han desarrollado nuevos dispositivos para el procesamiento de la señal de información en el dominio óptico y poder así eliminar las no deseables conversiones optoelectrónicas. Así, se han desarrollado amplificadores ópticos y compensadores de la dispersión para la regeneración de señal; filtros ópticos, multiplexores / demultiplexores y conversores de longitud de onda para el tratamiento de la señal de información óptica en el dominio espectral; y conmutadores ópticos para la provisión y conmutación de circuitos ópticos. Además, se han comenzado a realizar en el dominio óptico funciones que tradicionalmente se han realizado en el dominio electrónico como son la multiplexación en frecuencia que ha dado lugar a los sistemas multiplexados por división en longitud de onda (DWDM). [1]

1.2. Fibra óptica

Todo sistema de comunicaciones está formado por una serie de componentes fundamentales o esenciales sin los cuales el sistema no es considerado como tal. Estos componentes fundamentales son la fuente de mensajes, el transmisor, el medio de transmisión o canal, el receptor y el destinatario del mensaje.

Un sistema de comunicaciones ópticas no es más que un caso particular de un sistema de comunicaciones genérico y por tanto debe estar formado por los mismos componentes. Sin embargo, el transmisor deberá ser una fuente de luz que se corresponderá con un oscilador a frecuencias ópticas; el medio de transmisión deberá ser bien el aire o bien una guía de onda óptica; y el receptor deberá ser un detector de luz.

Actualmente la inmensa mayoría de las comunicaciones ópticas se transmiten por fibra óptica. Una fibra óptica consiste en un finísimo hilo de vidrio muy puro (aunque también se construyen de plástico, por economía), con un diámetro de entre cinco o diez micras. Para darle rigidez mecánica, al fabricarlo se rodea de más vidrio o plástico, pero este vidrio o plástico de fuera no es el que conduce la luz. De hecho las dos partes de la fibra óptica se construyen a propósito con un índice de refracción diferente para que la luz sea reflejada siempre hacia el interior y así confinar el haz. Externamente se le pone un recubrimiento para su protección frente al exterior.



Figura 1.1: Ejemplos de fibras ópticas disponibles. En la figura se puede apreciar tanto la cubierta exterior, como el material de relleno y el núcleo de la fibra

Desde sus primeras instalaciones, en las líneas que enlazaban las grandes centrales de conmutación, la fibra se está trasladando hoy en día hasta los mismos hogares, extendiéndose su uso a un mayor abanico de aplicaciones.

Este papel destacado de las fibras es debido a sus muchas propiedades favorables, entre las que merecen destacarse:

- gran capacidad de transmisión (por la posibilidad de emplear pulsos cortos y bandas de frecuencias elevadas),
- reducida atenuación de la señal óptica,
- inmunidad frente a interferencias electromagnéticas,
- cables ópticos de pequeño diámetro, ligeros, flexibles y de vida media superior a los cables de conductores,
- bajo coste potencial, a causa de la abundancia del material básico empleado en su fabricación (óxido de silicio). [2]

La fibra óptica normalmente se comercializa agrupadas en diversos conjuntos (4, 8, 16, 32, ...) que a su vez se reagrupan en diversos cables para facilitar el despliegue masivo, recubiertos de un revestimiento apto para soportar los daños que pueda infligir el entorno, y cuya apariencia externa es la de un cable flexible.

1.2.1. Fibra monomodo

Las fibras monomodo poseen un diámetro del núcleo muy estrecho, de manera que solo permiten un modo de transmisión. Poseen una atenuación típica de entre 0,1 dB y 0,4 dB por kilómetro. El núcleo mide entre 8 μm y 10 μm , por lo que requiere un acoplamiento de la luz muy confinado y preciso. Este diámetro tan estrecho causa además, que el haz se propague siguiendo una trayectoria muy paralela al eje de la fibra por lo que se evita el desfase al final de la transmisión y reduce la dispersión causada.

Aunque la dispersión modal no tenga sentido en la fibra monomodo, sí que la tiene por contrario, la dispersión cromática. Al disponer de un ancho de banda tan elevado, existe el problema de que no todas las longitudes de onda llegan al mismo tiempo a su destino, por lo que la dispersión cromática tiene un efecto muy considerable sobre el diseño.

El elevado ancho de banda de este tipo de fibras, junto con sus bajas pérdidas y su dispersión modal inexistente, la convierten en una fibra idónea para enlaces de larga distancia. No obstante a menudo requiere de una minuciosa instalación y mantenimiento, ya que su minúsculo diámetro da lugar a un cono de aceptación sustancialmente menor que el de las fibras multimodo.

No fue hasta que se solucionaron los problemas del acoplo de la señal de luz al núcleo de la fibra óptica mediante lentes esféricas, y habiendo perfeccionado las técnicas de empalme y conectorización de fibras, cuando se comenzó a trabajar con fibras monomodo para así poder eliminar el problema de la dispersión intermodal. Fue este tipo de fibra el que permitió las redes de larga distancia mediante comunicaciones ópticas. [1]

1.2.2. Fibra multimodo

En las fibras multimodo se engloban todas aquellas en las cuales el diámetro del núcleo de este tipo de fibras es amplio, por lo que es capaz de propagar varios modos de transmisión simultáneamente. Poseen una atenuación típica de entre 0,3 dB y 1 dB

por kilómetro. El núcleo mide en torno a 50 μm ó 62,5 μm , por lo que el acoplamiento de la luz en sus diferentes modos es más sencillo. Debido a esto, es posible utilizar un LED como fuente emisora, así como conectores más sencillos y una instalación y mantenimiento con menos coste que la fibra monomodo.

Las fibras ópticas multimodo pueden construirse de índice de refracción fijo, o bien de índice gradual. Las fibras de índice de refracción fijo o salto de índice, presentan un salto brusco entre el núcleo y el revestimiento que además, es constante en ambos. En las fibras multimodo de índice gradual el núcleo posee un índice que varía decreciendo según el radio desde el eje hacia el exterior.

El hecho de que transmitan varios modos simultáneamente, hace que este tipo de fibras posean una dispersión particular llamada dispersión intermodal. Se produce debido a que los haces de luz recorren distancias diferentes y no llegan a su destino al mismo tiempo. Dentro de las fibras multimodo, las de índice gradual poseen menos dispersión intermodal ya que los haces de luz describen direcciones onduladas, de manera que los más cercanos al eje recorren menos distancia pero son más lentos. Una dispersión intermodal más baja, permite que éste tipo de fibras admitan distancias de propagación mayores que las de índice escalonado.

Este tipo de fibra inicialmente fue el más utilizado debido a los problemas mecánicos que se presentaban a la hora de trabajar con las fibras monomodo. Estos problemas estaban relacionados con el acoplo de la señal de luz al interior del núcleo de la fibra, con el cortado y empalmado de las fibras, así como con la conectorización de estas. De ahí, que los primeros sistemas de comunicaciones ópticas empleasen fibras multimodo de salto de índice. Más tarde se desarrollarían las fibras multimodo de índice gradual que paliaron en gran medida el problema de la dispersión intermodal.

[1]

1.3. Otros elementos presentes en una red de fibra

1.3.1. Empalmes y conectores

Dado que la red está compuesta de diferentes tramos que atraviesan diferentes entornos, es lógico pensar que hay diferentes tramos de fibra enlazados entre sí para conformar la red. Se debe tener en cuenta además que, en muchas ocasiones es necesario practicar divisiones o segregaciones en los cables de fibra óptica, o bien es necesario rectificar alguna rama para realizar un diseño completo de una red de fibra óptica; sobre todo para dar disponibilidad a una zona nueva o ampliar alguna ya existente.

Los empalmes y conectores dan solución a este y a otros problemas, ya que son los elementos que dan dinamismo y flexibilidad de diseño a la red. Al tratarse de los elementos de unión entre dispositivos, causan un gran impacto sobre el funcionamiento del sistema, introduciendo generalmente ciertas pérdidas en la señal transportada. Es por tanto imprescindible seleccionar el elemento adecuado para cada caso práctico.

Análogo a los empalmes de cobre, un empalme óptico es el resultado de la fusión permanente de dos fibras ópticas. Para que la contribución en pérdidas al enlace sea mínima, la geometría de la unión de los dos extremos debe ser la más precisa posible, por lo que conlleva ciertas complicaciones técnicas:

- Los núcleos de las fibras pueden adquirir irregularidades durante el proceso de corte, extracción o fabricación.
- Los núcleos se pueden desalinear en el momento de la unión, por lo que dejan de compartir la concetricidad.
- Hay que evitar cambios en los índices de refracción de las fibras y las separaciones longitudinales o angulares, etc.

Es por ello, que existen diversas técnicas de empalmes de fibra óptica, que intentan optimizar la unión física entre fibras, intentando reducir al mínimo los efectos descritos anteriormente. Las técnicas de empalmes ópticos más importantes son el empalme por fusión o el empalme mediante adhesivos. En cuanto a las pérdidas nominales, son del orden de 0,1 dB para la soldadura por fusión, mientras que para la unión mecánica/adhesiva son del orden de 0,036 dB.

Los conectores ópticos también sirven para unir dos tramos de fibra óptica al igual que los empalmes, con la diferencia de que en estos últimos la unión es permanente, mientras que los conectores pueden acoplarse o desacoplarse sin ningún tipo de repercusión permanente. Esta característica los hace más apropiados para enlaces a otras fibras o a paneles de distribución de señal, en los que es necesariamente imprescindible este tipo de elementos.

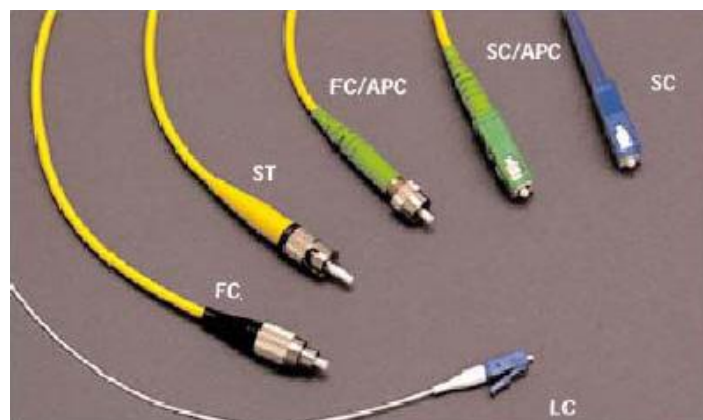


Figura 1.2: Ejemplos de conectores típicos.

Cualquier conector está constituido básicamente por una parte central llamada casquillo o férula, que contiene a la fibra durante su paso por el conector. Tiene el mayor impacto sobre las pérdidas del conector y puede estar fabricado a partir de cerámica, acero o plástico. La cápsula realiza la unión física con el conector opuesto mediante rosca, o girando y ajustando con un muelle. Va unida al cuerpo del conector y ambos pueden ser de plástico, o metal. [3]

1.3.2. El divisor óptico (*splitter*)

Los splitters son divisores ópticos, elementos que dividen y confinan los haces de luz para poder extender la red a lo largo de su recorrido. Debido a que multiplexan y

demultiplexan la señal, también confinan y dividen la potencia, en partes iguales. Son dispositivos de distribución óptica bidireccional, es decir, dividen la potencia recibida entre los múltiples puertos de salida, y también confinan los haces de los puertos de salida hacia un único haz hacia la entrada.

Son dispositivos puramente pasivos que funcionan de forma autónoma, lo que los hace susceptibles económicamente ya que abaratan los costes de instalación y necesitan menos mantenimiento. Sin embargo el hecho de dividir la potencia en múltiples salidas causa una atenuación que es función de su factor de división:

$$A_{es} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \quad (1)$$

Donde N es el factor de división del divisor.

1.3.3. Amplificadores

En fibra óptica, un amplificador óptico es un dispositivo que amplifica una señal óptica directamente, para así evitar la necesidad de convertir la señal al dominio eléctrico, amplificar en eléctrico y volver a pasar a óptico. Los amplificadores son necesarios en las redes ópticas para compensar la atenuación de la fibra que, si bien es muy reducida en comparación con las redes de cobre, no lo es lo suficiente como para obviar la necesidad de amplificar la señal en enlaces de muy larga distancia.

Existen diferentes mecanismos físicos que pueden ser utilizados para amplificar una señal de luz, a los que corresponden un gran número de amplificadores ópticos. De todos estos dispositivos, los más habituales son los Amplificadores de fibra dopada con Erblio (EDFA).

Este tipo de dispositivos utiliza una fibra óptica dopada con otra sustancia como medio de ganancia para amplificar la señal. En su interior se multiplexa dicha señal con el bombeo externo de un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Mediante esta tecnología es también posible amplificar un conjunto de longitudes de onda, por lo que es ideal para su uso en WDM (wavelength division multiplexing).

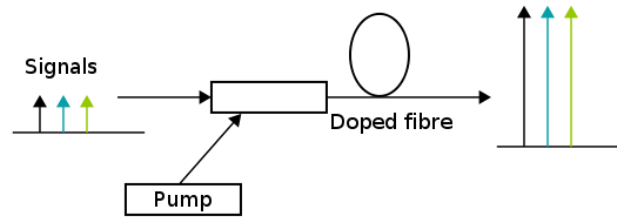


Figura 1.3: Esquema interno de un amplificador EDFA.

Otros amplificadores empleados en redes ópticas son los SOA (Semiconductor optical amplifier) y los amplificadores Raman. Sin embargo, en la actualidad, sus prestaciones no son tan buenas como las que presentan los EDFAs. Los SOAs presentan mayor factor de ruido, menos ganancia, sensibilidad a la polarización, etc; mientras que los Raman son vulnerables a las no linealidades y por ello es mejor emplear fibras especialmente diseñadas (fibra altamente no lineal) en las que se introducen dopantes y se reduce el núcleo de la fibra para incrementar su no linealidad y, de esta forma, compensar el efecto de los amplificadores Raman. [4]

1.3.4. Cajas de empalme

A lo largo del recorrido de la red la fibra se verá sometida a divisiones, multiplexaciones y demás operaciones que hacen uso de empalmes y conectores. Debido a que es necesario pelar por completo una sección de la fibra para este fin, el segmento de fibra afectado se vuelve vulnerable ante tensiones o perturbaciones del exterior. Para salvaguardar este inconveniente se instalan cajas de empalme.

Las cajas de empalme proporcionan un medio de protección contra las inclemencias del entorno al segmento de fibra que contiene empalmes o conexiones. Existen cajas tanto para montajes interiores como exteriores. Las cajas de tipo exterior deben estar fabricadas a prueba de intemperie y con un sellado impermeable. La capacidad de estas cajas es variable, y existen cajas que permiten resguardar empalmes hasta de cuatro cables de diámetros distintos. Algunos ejemplos son la caja Torpedo, la caja Mondragón, etc.



Figura 1.4: Cajas de empalme tipo Torpedo (izquierda) y Mondragón (derecha)

En el extremo de la caja se sitúan unos tubos a través de los cuales se insertan los cables de fibra. Al pasar por estos tubos los cables de fibra se mantienen sujetos mediante abrazaderas y los miembros de refuerzo central se amarran fuertemente al soporte de la caja. Los miembros de refuerzo metálicos se llevan siempre a tierra para evitar derivaciones eléctricas. Una vez en el interior, el cable va a parar a unas bandejas de empalme o casetes, que se utilizan para proteger y mantener los empalmes individuales tanto mecánicos como por fusión. Existen bandejas disponibles para muchos tipos de empalmes, incluyendo varios empalmes mecánicos con marcas registradas, empalmes por fusión desnudos, empalmes por fusión con funda termocontráctil, etc. Las cajas están además diseñadas para almacenar el exceso de cable sobrante, o instrumental óptico pasivo como divisores o acopladores.

1.3.5. Transmisores ópticos

En la cabecera de la red óptica se encuentra el dispositivo transmisor que introduce la señal óptica en la red. Este dispositivo transmite a todos los usuarios clientes y enlaza la red con el exterior. Para ello convierte una señal eléctrica de entrada (información) en una señal óptica, conduciéndola hacia la fibra óptica. También realiza otras funciones derivadas, como multiplexar las señales previas a transmitir o regular el tráfico de la red.

Los emisores de luz que contiene cada transmisor, están formados generalmente por láseres. Un láser es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente con una alta pureza espectral. Son muy aptos para telecomunicaciones, aseguran una calidad de la

señal muy elevada debido sobre todo a las ventajas de la pureza espectral de la fuente y a la relativa linealidad de funcionamiento. Hasta hace poco los LEDs eran utilizados como emisores de luz cuando su baja directividad no era un inconveniente en la mayoría de fibras multimodo existentes entonces. Hoy en día, este inconveniente junto con su pulso de elevado ancho espectral, desplazan al LED para este tipo de aplicaciones, convirtiendo a los láseres en los dispositivos más utilizados para este fin.

En redes de gran dimensionado, el transmisor óptico normalmente opera junto a otros dispositivos que pueden variar en función de la finalidad de la red. Tales dispositivos no deben ser necesariamente de fibra óptica, ya que depende de las necesidades del teleoperador para ofrecer un servicio adecuado a los clientes. Puede tratarse de instrumental de red (Switches, routers, etc.), difusores de vídeo, procesados digitales de la señal, etc. [1]

1.3.6. Receptores ópticos

En el lado final del usuario, o simplemente en la terminación de la fibra, se sitúa el receptor óptico. Es capaz de hacer llegar la señal óptica al destinatario de la misma, y convertirla en señal eléctrica para su procesamiento

El dispositivo que permite esta conversión opto-eléctrica es el fotodiodo. Es el componente fundamental del sistema de comunicaciones ópticas que menos ha evolucionado. Básicamente, el fotodetector no es más que una unión p-n de semiconductor polarizada en inversa que basa su funcionamiento en el fenómeno de absorción estimulada, es decir, el fotodetector produce una corriente eléctrica (genera un par electrón – hueco) cuando sobre la estructura incide luz (fotones).

Existen dos tipos de fotodetectores para sistemas de comunicaciones ópticas. El primero de ellos, el fotodiodo PIN, se caracteriza por su alta fiabilidad y facilidad de fabricación, bajo ruido y compatibilidad con los amplificadores de bajo voltaje; mientras que el fotodiodo APD presenta una sensibilidad mucho menor pero necesita altos voltajes de alimentación para su funcionamiento, los que les hace más convenientes en el caso de que la potencia recibida sea limitada. Actualmente existen fotodiodos APD funcionando con voltajes bajos pero su precio se encarece mucho. [3]

1.4. Comunicaciones por Fibra Óptica

1.4.1. Enlaces: Punto a punto

La topología punto a punto para redes de fibra óptica, consiste en un enlace dedicado entre emisor y receptor, sin que exista otro tipo de conexión o división de la señal durante el trayecto.

Este tipo de configuración es utilizado por empresas para el acceso a la fibra óptica en planta externa, que necesitan conectar ubicaciones apartadas con una cierta capacidad de comunicaciones, generalmente a una gran distancia o bien a un ancho de banda muy elevado. La información a transmitir puede tratarse simplemente de datos, conexiones a banda ancha, o hasta un enlace de datos de alta velocidad para alguna aplicación específica.

La comunicación por un único canal, como en las redes punto a punto, ha sido en gran parte impulsada por las técnicas WDM. Este método consiste en multiplexar varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda. La implementación de este sistema ha ido volviéndose más popular en las compañías de telecomunicaciones, ya que permite aumentar la capacidad de las redes sin tener que desplegar más fibra óptica.

En redes de difusión como las redes urbanas para distribuir internet y voz o telefonía no son habituales este tipo de redes, ya que el elevado número de conexiones obliga a adoptar una filosofía de diseño más jerarquizada, segmentando la red en tipologías más comunes como las redes punto a multipunto. No obstante las redes que unen nodos de comunicación, poblaciones o grandes comunidades suelen estar formados por un enlace dedicado punto a punto, donde las técnicas WDM mencionadas anteriormente brindan altos anchos de banda para un único enlace a gran distancia.

1.4.2. Difusión: Punto a multipunto

La tipología punto a multipunto para redes de fibra óptica, consiste en un enlace en el que un mismo terminal se conecta a varios receptores, dividiendo para ello la señal hacia cada uno de ellos.

Esta tipología se basa en la fragmentación. Su objetivo es distribuir varios enlaces por un mismo canal, compartiendo los costes de un mismo segmento de fibra y reduciendo así el número de las mismas. Al existir menos instrumental, los costes de despliegue y mantenimiento de la red se ven también reducidos; lo que convierte a esta arquitectura en una alternativa a tener muy en cuenta para redes urbanas o de acceso a viviendas. Es ampliamente utilizada por compañías teleoperadoras y distribuidores de banda ancha.

Para ramificar el trayecto, se instalan splitters o divisores en las conexiones de los segmentos de fibra. El funcionamiento de estos dispositivos es muy simple. Dividen el haz óptico entrante hacia los demás extremos, o los confinan en sentido opuesto. Al fragmentarse la señal se deben tomar medidas para evitar que la potencia en recepción caiga en exceso, bien colocando amplificadores o reduciendo la distancia de las comunicaciones.

El equipamiento activo de la red también se ve enormemente reducido, pues si se comparte el mismo canal para uno de los transmisores basta con uno solo de ellos para dar acceso a cientos de usuarios en las redes de acceso. Tan solo se debe instalar una adecuada gestión de canales en el transmisor para evitar interferencias.

Además, esta arquitectura arbolada además, hace que las ampliaciones o reducciones de tramos tengan un menor impacto sobre el diseño. Esto dota a la red de gran flexibilidad y manejo, además de abaratar los costes de los futuros proyectos de reestructuración o ampliación. Sin embargo esta topología no es la única. En algunos casos puede combinarse con estructuras de transmisión en bus o en anillo, aunque no ofrecen una eficiencia tan elevada a nivel de ingeniería. [5]

1.5. Estándares sobre redes de fibra óptica

En los años 80 surgieron las redes FDDI para dar soporte a las estaciones de trabajo de alta velocidad, que habían llevado las capacidades de las tecnologías Ethernet y Token Ring existentes hasta el límite de sus posibilidades. Están implementadas mediante topologías de estrella o anillo, mediante una transmisión en sentido directo y otra en dirección contraria. Ofrecen una velocidad de alrededor de 100 Mbps sobre distancias de hasta 200 metros, soportando hasta 1000 estaciones conectadas. Su uso más normal es como una tecnología de backbone para conectar entre sí redes LAN de cobre o computadores de alta velocidad.

Otro avance fue el estándar 100BASE-FX de fibra óptica en redes de área local (LAN) para mezclar segmentos de fibra que unen múltiples equipos sin repetidores entre ellos. Utiliza un láser infrarrojo a través de dos fibras multimodo, una para recepción y otra para transmitir. Ofrece una velocidad de transmisión de 100 Mbps con una longitud máxima de 400 metros para half-duplex o 2 kilómetros para full-duplex.

Una vez las redes de fibra óptica fueron aptas para enlaces de larga distancia, no tardaron mucho en formar parte de las urbanas o de acceso a las viviendas para distribuir internet de banda ancha o televisión digital. Uno de los primeros estándares implementados fueron las redes HFC (Hybrid Fiber/Coax).

Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes. Se trata, por tanto de una red de telecomunicaciones que combina la fibra óptica con el cable coaxial. La red de usuarios y la distribución urbana se implementan por el cable coaxial ya existente, mientras que la cabecera y la red troncal se conectaban por una red de fibra óptica. Estas redes estaban preparadas para ofertar por el mismo medio además del servicio de televisión por cable, la señal de internet de banda ancha e incluso telefonía y radio FM. [6]

La tecnología actual en pleno auge para las redes de fibra óptica, es la red óptica pasiva PON (*Passive Optical Network*). Este tipo de red carece de elementos activos en el

bucle, transmitiendo la señal a través de múltiples divisores de haz (splitter). El uso de dispositivos únicamente pasivos ha reducido sensiblemente los costes, convirtiendo a esta topología en la solución definitiva de redes de acceso a usuarios y ha dado lugar a las redes de fibra hasta el hogar (FTTH).

Mientras que en una red óptica común los elementos activos establecen una conexión dedicada con cada uno de los receptores, en las redes PON todos los paquetes son distribuidos a todas partes, por lo que se hace necesario un filtrado de información realizado por el propio receptor. Sin embargo esta pequeña complicación compensa perfectamente el considerable ahorro en costes de equipamiento y mantenimiento. Las diferencias entre ambas se pueden observar en la siguiente figura:

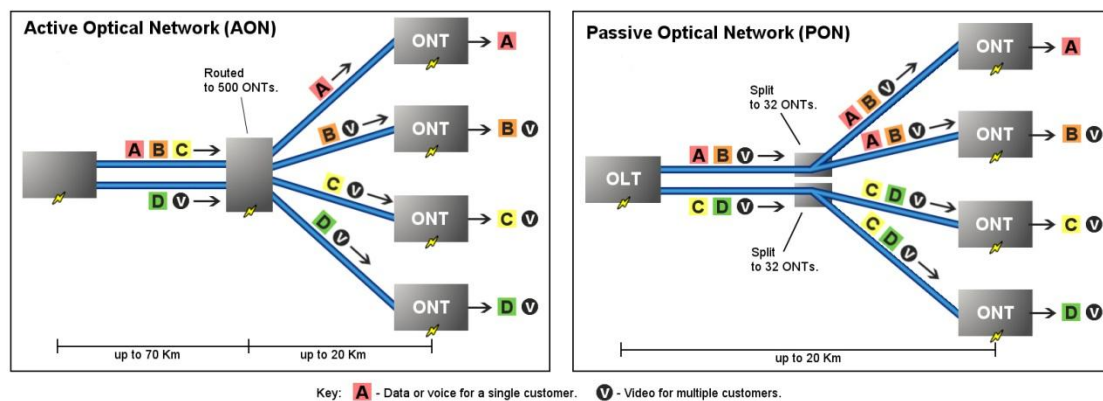


Figura 1.5: Diferencias entre una red óptica activa (AON) y pasiva (PON)

La información se envía desde un transmisor llamado OLT (*optical line termination*). Este dispositivo distribuye la información a través de un haz láser hacia los usuarios utilizando técnicas WDM y TDMA. Uno solo de estos OLT puede dar suministro a cientos de usuarios en varios kilómetros a la redonda. A su vez, estos transmisores están conectados por una red dedicada para asegurar redundancia entre nodos y así poder distribuir el tráfico entre las diferentes estaciones. En el lado del usuario, un receptor llamado ONT recibe la señal y filtra las tramas que le corresponden a él mismo, y transmite la información enviada por el usuario a la central.

Dado que las redes PON, junto con la tecnología FTTH presentan la solución óptima para las redes de acceso de esta época, se utilizará esta tecnología para simular la

planificación de un proyecto de construcción de una red de acceso, en el último capítulo del presente proyecto. [5]

1.6. Historia de las redes de fibra óptica

La historia de comunicación por fibra óptica es relativamente corta. Los primeros sistemas operativos y plenamente funcionales no llegaron hasta la segunda mitad del siglo XX. Antes de esto hicieron falta numerosos experimentos y pruebas para hacerlo viable. El primer sistema de comunicaciones ópticas en sentido estricto que podemos considerar se sitúa en Francia en el año 1792 cuando Claude Chappe propone su telégrafo o semáforo óptico. El telégrafo óptico constituyó una verdadera revolución en las comunicaciones de final del siglo XVIII. Lógicamente, el telégrafo óptico de Chappe se vio relegado años más tarde por la invención del telégrafo eléctrico de Morse.

Sin embargo, el desarrollo de los sistemas de comunicaciones ópticas tal y como los conocemos hoy en día tuvo que esperar hasta la segunda mitad del siglo XX principalmente debido a dos factores

- La necesidad de disponer de fuentes de luz y medios de transmisión adecuados, lo cual no pudo llevarse a cabo hasta que se consiguieron algunos avances científicos. Algunos de estos avances fueron la existencia y funcionamiento de las ondas electromagnéticas por Maxwell, o la propagación en guías de ondas por Rayleigh.
- La necesidad de una mayor infraestructura de telecomunicaciones originada por el espectacular despliegue de la red telefónica a escala mundial. En primer lugar se sustituyeron parte de los cables de pares por cables coaxiales, para proporcionar un mayor ancho de banda. Pronto se llegó a la conclusión, que la única forma de aumentar la capacidad de la red era migrar hacia valores de la frecuencia portadora mayores.

El avance definitivo que impulsó el despliegue de fibra óptica fue la fibra óptica. Sin embargo, aunque fuese descubierta en los años 40, no fue hasta el año 1977 cuando

adquirió competencia durante un sistema de prueba en Inglaterra. Dos años más tarde se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Más tarde de la invención de la fibra óptica, en 1959, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin que los mensajes se transmitieran a altas velocidades y con amplia cobertura. A pesar de esto, el láser no podía compensar los defectos de la fibra óptica, que en sus inicios contaba con gran atenuación y hacían imposible la transmisión de potencia óptica.

En 1966 se publica el trabajo de Kao y Hockman, quienes sugieren la posibilidad del empleo de fibras ópticas para la transmisión de información en largas distancias si se logra disminuir la atenuación. Para ello, sostiene que el elevado valor de atenuación del vidrio de sílice (unos 1000 dB/Km) podía ser debido a la presencia de impurezas y que refinando los procesos de fabricación podían disminuirse estos valores de atenuación. Finalmente y tras una frenética carrera industrial, en 1970 llegó la primera fibra óptica de baja atenuación (unos 16 dB/Km)

Ya a partir de los años 80 empezaron a desplegarse las primeras redes ópticas. Aunque desde un principio se conocían tanto las fibras monomodo como las fibras multimodo, inicialmente todas las miras se centraron en las multimodo debido a los problemas mecánicos que se presentaban a la hora de trabajar con las fibras monomodo. Una vez solucionados los problemas del acoplo de la señal de luz al núcleo, se comienza a trabajar con fibras monomodo de salto de índice para así poder eliminar el problema de la dispersión intermodal y lograr así mayores anchos de banda.

La fibra óptica también se utilizó en los tendidos submarinos. Los costes de estas redes son muy elevados y, además se exige un nivel alto de fiabilidad y disponibilidad debido al elevado coste que supone cualquier trabajo de mantenimiento y reparación. En 1985 se llevan a cabo los primeros tendidos entre Canarias y la península ibérica, con una distancia del enlace de unos 100 km.

Por último y como alternativa más reciente, surgieron las redes FTTH ya mencionadas previamente en la sección anterior. Los primeros despliegues en fase de

pruebas comenzaron en torno a 2003 en Estados Unidos. Más tarde se desplegaron redes FTTH gradualmente por todo el mundo, siendo la zona de Asia-Pacífico la que cuenta con la mayor tasa de penetración de la banda ancha del mundo. En Europa, las inversiones en despliegue de redes de fibra, ha comenzado más tarde que en otros países desarrollados debido a la gran aceptación de las tecnologías xDSL sobre el par de cobre. Sin embargo, gracias a las presiones de los gobiernos de la UE, en la actualidad existen redes FTTH en países como Francia, Alemania o España; y muchos otros se encuentran desplegando sus primeros prototipos de prueba.

Concretamente en España, Telefónica realizó las primeras pruebas de campo en Pozuelo de Alarcón y Campamento (Madrid), alcanzando velocidades de 50Mbps. Desde el 26 de agosto de 2008, Telefónica ya ofrece comercialmente cuatro paquetes *Triple play* sobre su red FTTH, que ya cubre la mayor parte de Madrid. Desde el año 2005 se está desplegando la primera red de fibra hasta el hogar en la zona de los valles mineros del Principado de Asturias (Asturcon). Además, en 2012 telefónica comenzó a desplegar otra red similar en Asturias como competencia. [7] [8]

Capítulo II

Características y fases de despliegue de una red de acceso de fibra óptica

El despliegue de una red de acceso normalmente está repleto de diversos procedimientos técnicos y sujeto a normativas de obra y a la agenda de gestión de proyectos. Por ello, a lo largo del presente capítulo, se describirá de una forma sencilla el procedimiento de planificación, diseño e instalación de una red de acceso basada en fibra óptica desplegada por un operador cualquiera, cumpliendo los parámetros esenciales de alta calidad y bajo coste sobre una estructura física determinada.

Para ello debe elaborarse un detallado informe sobre todos los aspectos a tener en cuenta, junto a la normativa y recomendaciones que este tipo de proyectos conllevan, para lograr un diseño eficaz y cumplir las expectativas que el operador de telecomunicaciones deposita sobre la tecnología de fibra óptica.

2.1. Datos de partida en el diseño de la red

2.1.1. Jerarquía de la red

Para tener una perspectiva general de la red es necesario analizar la dimensión de la infraestructura total, no solo la que da forma a nuestro diseño.

La estructura de la red está formada por varias capas en función de cuanto territorio abarque la red del teleoperador. Estas capas están ordenadas en una estructura de niveles, de mayor a menor, en la que un nivel más alto implica mayor volumen de tráfico, distancias relativas más elevadas y también más coste de mantenimiento de la

misma. Como el nivel de enlace de estas redes transcurre por protocolo IP, no representa ningún inconveniente para las tramas de datos la transmisión desde su origen a cualquier punto de la red, tanto por caminos directos como por rutas alternativas para asegurar la redundancia de encaminamiento.

El nivel más elevado corresponde a la red nacional, siempre en el caso de que el teleoperador posea también los derechos de una infraestructura a este nivel. Este tipo de red generalmente posee una seguridad elevada y conecta las redes regionales internas con redes internacionales en el extranjero. Las redes regionales conectan diversas poblaciones dentro de un área extensa y las une de cara a la red nacional. Las redes municipales unen el tráfico de diferentes municipios y conforman la unión de las redes urbanas junto con algunas viviendas muy separadas de núcleos de población, si las hubiera. Las redes metropolitanas se extienden a lo largo de una población, o incluso varias que estén próximas, para unir áreas metropolitanas que estén suficientemente separadas como para no integrarlas en una red municipal.

Si la población no es lo suficiente extensa, la red municipal se conecta directamente a la red de acceso, que contiene los nodos finales que dan el acceso a los usuarios de cualquier tipo, ya sean viviendas particulares, bloques de viviendas, edificios administrativos y no residenciales, etc. Además, estas redes pueden enlazar con otro tipo de interfaces como WLAN o redes de cobre, o repetidores de telefonía móvil.

Si la red de acceso enlaza únicamente desde el nodo de alimentación de la red hasta el usuario final, hace falta incluir en el nivel superior alguna clase de redundancia en la línea para poder habilitar el multiencominamiento. En otras palabras, la red debe ofrecer rutas redundantes.

Esta forma de diseño es posible ya que el nivel de enlace entre capas se realiza por protocolo IP, y recomendable porque en caso de congestión de tráfico de datos, las tramas pueden encontrar una ruta alternativa y así evitar “atascar” el sistema. Si no existiera tal redundancia en los enlaces en caso de un uso excesivo en un momento dado, la red podría colapsarse y dar lugar a malfuncionamientos o incluso a averías de

la misma. En la figura 2.1 se muestra un ejemplo tipográfico sobre la redundancia de una red municipal.

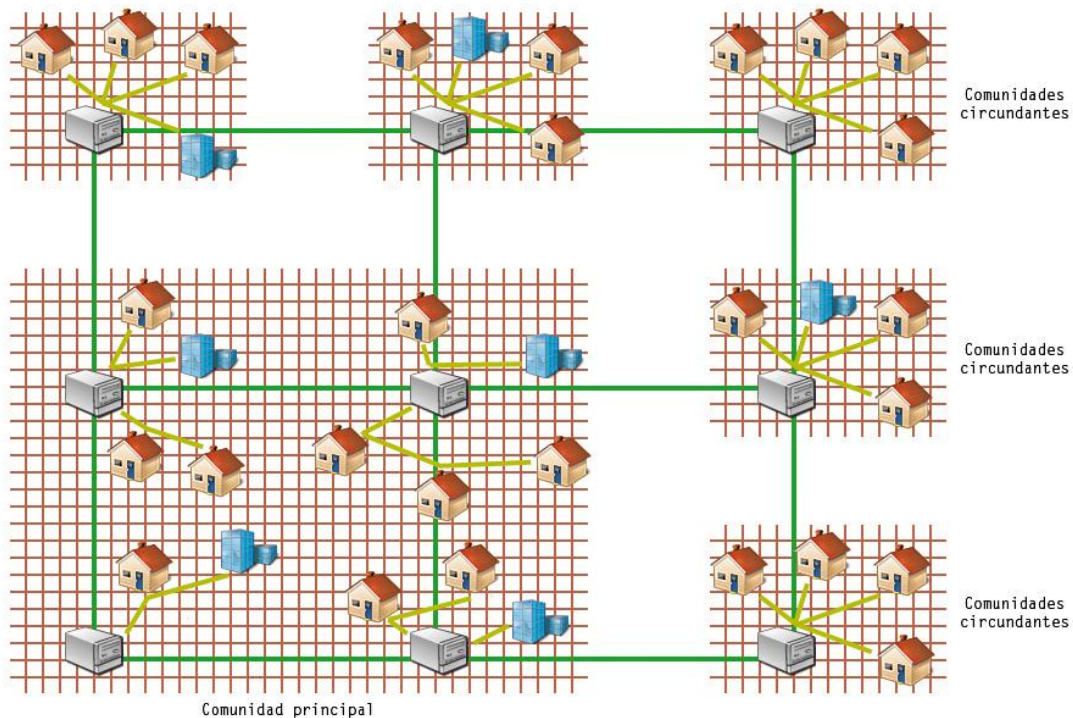


Figura 2.1: Conexión entre nodos de acceso

Además de balancear el tráfico, la red debe ser capaz de proporcionar acceso a varios teleoperadores para instaurar competencia y evitar el monopolio de la línea. Aunque mediante varias fibras es posible proporcionar servicio de este tipo a todos los usuarios, es recomendable hacer uso de la redundancia de las conexiones para garantizar la multioperatividad. [9]

2.1.2. Cuestiones legales y derechos de propiedad

La instalación y despliegue de una nueva red de telecomunicaciones es una gran inversión en la que se ven implicadas muchas infraestructuras. Facilitar el acceso de fibra óptica a una vivienda puede causar que esta se revalorice. Es entonces lógico pensar que los propietarios del edificio en cuestión quieran los derechos de la instalación correspondientes a su territorio. Facilitar estos permisos a los usuarios le da a las compañías una forma de convencer a los residentes de la importancia de autorizar las obras y evitar futuros malentendidos.

Además, otros teleoperadores podrían pagar al propietario de la red alguna tasa o renta por el uso de la misma, de forma que se fomente la competencia entre ellas. El propietario no obstante debe encargarse del mantenimiento de todo el tramo, para lo que puede recurrir a empresas de terceros, mientras el propietario podría financiarse únicamente con la renta de la red por parte de otros operadores. Aunque este no es el único modelo de negocio, sino que la red puede tener copropietarios, colaborando todos para el buen funcionamiento del sistema.

La obtención de derechos de obra y demás burocracia deben obtenerse y acordarse antes de comenzar el proyecto. Todo documento debe ser reconocido ante la administración y ajustarse al marco legal. En el caso de implicar a otra empresa u organismo también debe quedar reflejado en el contrato. Estos contratos en ocasiones pueden complicarse y ser difíciles de obtener, como en el caso de algunos edificios no residenciales o al atravesar propiedades conflictivas como edificios de origen histórico, o estructuras de estado endeble.

Los permisos de los residentes pueden obtenerse mediante la visita de un enviado de la compañía encargado de informar a los mismos. No obstante esta tarea puede llevarse a cabo durante la obtención del replanteo por el técnico encargado al efecto, de esta forma se ahorra tiempo y el diseño puede comenzar cuanto antes.

Los acuerdos que comprometan a trabajar juntos a diferentes organizaciones deben ser satisfactorios entre ellas en su justa medida. Toda discrepancia o conflicto que pueda surgir durante el desarrollo del proyecto puede dar lugar a molestos y caros retrasos, o incluso a congelarlo por completo. [9]

2.1.3. Estudios de mercado

Antes de comenzar con el proyecto en sí, es necesario recopilar ciertos datos y elaborar ciertas conclusiones sobre la viabilidad económica del proyecto.

En el estudio geográfico se debe visitar y evaluar el escenario de despliegue, hay que contrastarlo con los datos cartográficos del entorno, contabilizar el número de

viviendas en cada propiedad, su distribución y altura, averiguar las canalizaciones existentes, arquetas, salidas al exterior de cable, etc.

La visita a los terrenos puede realizarse mediante el envío de personal capacitado a la zona afectada antes del diseño de las instalaciones. Lo habitual es que, para un mejor conocimiento de las posibilidades que ofrece el lugar, se destine a un encargado para supervisar la zona, o incluso un cartógrafo si se trata de un terreno complicado; mientras que el resto de detalles más puntuales se podrán obtener más tarde durante el replanteo.

Aunque lo más importante es realizar un estudio sociocultural estadístico, para así conocer de antemano si existe una demanda real de fibra óptica. Esto arrojará una idea sobre el coste inicial y el coste a largo plazo de futuras ampliaciones y nuevos tramos de la red.

Este estudio se llevará a cabo mediante encuestas a los residentes sobre si desean el servicio, o si lo utilizarían aunque no lo necesitaran expresamente. Los resultados determinarán el índice de penetración de la red para hallar la máxima rentabilidad del proyecto o incluso su viabilidad total. Por ejemplo, si tras realizar las encuestas se obtiene que una mayoría son consumidores habituales de servicios de banda ancha, significa que son usuarios potenciales de fibra óptica y por lo tanto debe efectuarse una cobertura total a corto o medio plazo; mientras que por el contrario si tan solo se trata de un 50% de los usuarios, bastaría con una cobertura inicial del 25 o 33%, y a partir de ahí ampliarla según fuese necesario.

2.1.4. Planificación del proyecto

La distribución en el tiempo de todas las actividades llevadas a cabo durante la duración del proyecto y la consideración de los recursos necesarios son elementos clave para obtener una distribución de las actividades en el tiempo y una utilización de los recursos que minimice el coste del proyecto cumpliendo con los condicionantes exigidos de: plazo de ejecución, tecnología a utilizar, recursos disponibles, nivel máximo de ocupación de dichos recursos, etc. [9]

La programación de actividades debe aportar al director de proyecto un calendario de ejecución del proyecto donde se refleje la fecha de inicio y finalización de las distintas actividades en que se ha descompuesto el proyecto. Algunas de dichas actividades son:

- Reunir toda la información relativa al despliegue: planos de las edificaciones, recorrido del cable, número de empalmes y conexiones, tipos de microconductos y dispositivos de red. Si la instalación se lleva a cabo en varios despliegues o etapas, será necesario un plano detallado de cada obra, ya se trate de una instalación de interior o exterior.
- Listado de materiales con sus costes.
- Estimación los costes a corto o medio plazo de la ingeniería.
- Diagrama del proyecto con tiempos estimados. Generalmente se recurren a cronogramas.
- Directrices y métodos de instalación, canalizaciones material adecuado para las diferentes partes de la red.

Se debe mencionar además que durante la planificación de una red, la labor de ingeniería está muy presente, mientras que los costes son relativamente muy bajos. Ocurre lo contrario en la fase de instalación, donde las labores de ingeniería descienden, y los costes suben. Esto implica que los errores durante la planificación provocan un menor impacto sobre el coste general del proyecto que los errores en la instalación, sin embargo ambos están relacionados: un diseño seguro y eficaz podría evitar complicaciones técnicas durante los despliegues de material y evitar tanto las posteriores demoras en la instalación como el coste añadido de rectificarlas. [9]

2.2. Diseño

2.2.1. Elección de los materiales

Para determinar los objetivos a cumplir del diseño, se deben establecer y concretar ciertas cuestiones técnicas relacionadas con los dispositivos y elementos que se vayan a montar:

- Tipos de cables y conectores.
- Balance de potencias, tanto para ascendente como descendente.
- Dispositivos conectados a la fibra, tanto activos como pasivos.
- Atenuaciones:
 - Atenuación de la fibra.
 - Atenuación por conectores.
 - Atenuación por uniones o empalmes.
 - Reflexiones máximas.
- Sensibilidad de los receptores.
- Margen de envejecimiento o periodo de vida mecánica.

Esta fase de dimensionado de la red permite a los ingenieros decantarse por unos materiales u otros, para así cubrir las necesidades de los usuarios a la vez que abarata tanto el coste inicial de despliegue de la red como los futuros costes de mantenimiento de la misma. [9]

La elección de fibra óptica implica decantarse por la clase monomodo o multimodo, alcanzando la primera mucha mayor distancia debido a su nula dispersión intermodal, mientras que la segunda tiene un coste de manipulación menor al tener un cono de aceptación más ancho. Se debe entonces tomar un compromiso para decidir qué característica resulta decisiva en el despliegue, para cumplir con los objetivos al mismo tiempo que se minimizan los costes.

En los comienzos de las redes de fibra óptica, las redes de fibra multimodo estaban muy extendidas, debido sin duda a que su manipulación es mucho más sencilla y no se requiere un nivel de precisión tan acusado como en monomodo. Los láseres de la época funcionaban a frecuencias más bajas, además la tecnología para introducir la señal en la fibra no era tan avanzada. Hoy en día, las redes monomodo son predominantes pese a su mayor coste de instalación debido a, como se ha dicho antes, sus bajas tasas de atenuación y dispersión, con lo que permiten alcanzar mayores distancias.

Por lo tanto y dado que la fibra monomodo tiene mayores prestaciones que su competidora, la fibra multimodo solo se recomienda para conexiones cortas de, como

máximo, 500 m entre el usuario y el transmisor activo, junto con una densidad de población elevada para que resulte rentable.

A la hora de distribuir el acceso hacia los usuarios, existen varias posibilidades. Hay operadores que optan por utilizar una fibra dedicada para el enlace de descarga y otra para el de subida. Esta técnica fue muy utilizada en las primeras redes ópticas con topología punto a punto. Sin embargo en la actualidad son muy comunes los sistemas basados en tecnología WDM, multiplexación en el dominio de la longitud de onda. En este sistema los canales de subida y bajada discurren a través de la misma fibra, pero en diferentes longitudes de onda. De esta forma una fibra óptica puede resultar tan versátil como dos y por lo tanto se reducen la cantidad de fibras necesarias, ahorrando coste y espacio.

No obstante y aunque se destina una sola fibra para proveer de servicio al usuario, en la práctica se despliegan varias para prevenir futuras ampliaciones de la red, además de instaurar la multioperatividad. A nivel técnico resulta complicado que dos o más operadores presten servicio utilizando el mismo equipamiento activo, por lo que muchas operadoras de cable optan por desplegar varios tubos, y reservan fibras dentro de cada uno de ellos de forma que cada uno de ellos corresponda a cada operador.

Por lo tanto, y como resumen, se recomienda el uso de fibra óptica multimodo solo para redes de acceso que discurran a lo largo de áreas no muy extensas y con una alta densidad de población. En caso contrario es mejor optar por fibra monomodo. Además es aconsejable desplegar fibras de sobra, aunque se dejen sin conectar, como recurso para ampliar la red o para facilitar la multioperatividad.

Los cables ópticos también juegan un papel importante en la calidad del sistema, ya que impermeabilizan la fibra y la aíslan del exterior, además de proporcionar rigidez mecánica. Dependiendo del tipo de instalación se optará por un cable u otro, como se detallará más adelante en la sección de técnicas para el despliegue de fibra. Básicamente existen dos métodos: adquirir el cable con la fibra incluida de fábrica, o introducir la fibra en el interior del cable mediante un método llamado soplado.

Los conectores y empalmes también deberán ofrecer una calidad requerida. Aunque es posible utilizar diferentes tipos de conectores en cualquier instalación, es recomendable homogeneizar todas las uniones utilizando conectores del mismo tipo. Por otro lado los empalmes pueden ser mecánicos o por fusión, siendo estos últimos los más eficaces con unas pérdidas de 0,1-0,2 dB. Es preferible el uso de empalmes al de conectores, ya que aunque la unión sea de carácter permanente, prima siempre la calidad del enlace.

Los amplificadores que se incluyan en redes de fibra óptica se instalan para volver a recuperar la potencia que tenía al comienzo del recorrido. En las redes de acceso, sin embargo, la distancia de los enlaces no genera tanta atenuación como las ramificaciones realizadas por los divisores ópticos. Para solventar este problema una buena solución consiste en poner un amplificador óptico antes de la ramificación, que eleve la potencia de la señal al nivel necesario para que la potencia después de la ramificación sea suficiente. El amplificador debe contar con un aislamiento externo e impermeabilidad absolutas (ya que se trata de un dispositivo activo), además hay que procurarle un buen acceso a los cables de potencia para minimizar las averías. [9]

2.2.2. Balance del enlace

Después de haber escogido los componentes para la instalación de la red, es necesario calcular el balance óptico del sistema. Este balance cuantificará las pérdidas máximas de la red y por lo tanto permitirá conocer la capacidad máxima de transmisión del sistema o la distancia máxima de cada enlace, dado que ambos parámetros son inversamente proporcionales entre sí.

El cálculo del balance de red debe tener en cuenta todos los elementos de la red, ya que todos los elementos de alguna forma intervienen en la calidad de la señal a lo largo del trayecto, generalmente empeorándola. Por ello, el análisis matemático del enlace debe contemplar no solo las pérdidas de la fibra, sino además las de todos los dispositivos como divisores o conectores y la ganancia de potencia de los amplificadores.

Existe una fórmula general para el cálculo del balance de una transmisión por fibra óptica entre un emisor y un receptor. Esta fórmula viene dada por la siguiente expresión lineal.

$$P_o - [n_c \alpha_c + n_e \alpha_e + M_s + L \alpha_{FO} - G] \geq S_o \quad (2)$$

Donde:

- P_o es la potencia máxima inyectada en la fibra óptica.
- α es la atenuación de empalmes y conectores: α_e para empalmes y α_c para conectores.
- n es el número de empalmes y conectores: n_e para empalmes y n_c para conectores.
- M_s es un margen de seguridad, contempla las pérdidas de otros dispositivos, ratio de encendido-apagado, cambios de temperatura y otros factores que puedan introducir pérdidas.
- L es la longitud del tramo de fibra en km.
- α_{FO} es la atenuación característica de la fibra óptica, en dB por km.
- G es la ganancia de amplificadores ópticos no regeneradores (EDFA)
- S_o es la sensibilidad del fotodetector, esto es, la mínima potencia necesaria en recepción para hacer posible la comunicación.

Dadas las restricciones actuales que existen en los núcleos residenciales en lo referente a infraestructura óptica, el parámetro mayormente limitante es la longitud máxima del enlace, o lo que es lo mismo, la longitud máxima de la fibra entre el nodo de acceso y el conversor opto-eléctrico del edificio. Es por ello que la variable de mayor interés en la ecuación anterior deba ser la longitud máxima de la fibra, por lo que es necesaria una modificación de la ecuación anterior para despejar esta variable:

$$L_{max} = \frac{P + G - n_c \alpha_c - n_e \alpha_e - M_s}{\alpha_{FO}} \quad (3)$$

En esta ecuación se han incluido algunos elementos, nuevos, mientras que otros han cambiado:

- L_{max} es la máxima longitud que puede alcanzarse entre el nodo y el usuario.

- P es el margen de potencia máxima para el sistema en dB. Es el resultado de la diferencia entre la potencia óptica del transmisor y la sensibilidad del receptor.

Si en la citada expresión sustituimos, a modo de ejemplo, las variables por datos numéricos atendiendo a una situación típica como atenuación de fibra óptica 0,21 dB/km, 3 empalmes y 3 conectores con atenuaciones de 0,2 y 0,5 dB respectivamente, un margen de potencias de 7,5 dB, un margen de seguridad de 2,64 dB y sin amplificadores, entonces la expresión atendería a la forma siguiente:

$$L_{max} = \frac{7,5 - 3 \cdot 0,5 - 3 \cdot 0,2 - 2,64 \text{ (dB)}}{\alpha_{Fo} \left(\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right)} = 13,142 \text{ (km)} \quad (4)$$

Por lo tanto una situación con datos típicos determina una longitud máxima de unos 13 km redondeando a la baja, por lo que llegada la hora de diseño debe procurarse de no sobrepasar nunca tal distancia en el despliegue de fibra. [2]

2.2.3. Replanteo

Antes de comenzar las obras, debe efectuarse cierta toma de datos para certificar la información de partida que se dispone del proyecto, y detectar nuevas cuestiones u obstáculos que puedan afectar al desarrollo de las obras. El Replanteo es la operación que se encarga de este cometido, además de trasladar fielmente al terreno las dimensiones y formas indicadas en los planos que integran la documentación técnica de la obra.

Para ello, se envía a un encargado que una vez comprobado e investigado el terreno afectado elaborará un acta de replanteo. Se trata de un documento contractual que se realiza después de comprobar el replanteo general de la obra, constando allí las incidencias del solar, dimensiones, cotas, y la fecha que indica el comienzo oficial del inicio de las obras.

En el caso de proyectos para la instalación de una red de acceso a las viviendas, el replanteo puede realizarlo un técnico habilitado al efecto por la compañía encargada de las obras, o directamente por la empresa que despliega el cable. En este último caso,

el realizador del replanteo puede ser también el encargado de obtener el permiso, además de formalizar el acta de informar a los residentes y al presidente de la comunidad. De esta forma pueden agilizarse los trámites al efectuar una sola visita.

Finalizado el replanteo, se comunica a las partes interesadas, se efectúa una visita de las mismas, y si no existe nada objetable, se firma el Acta de Replanteo, que a partir de ese momento se transforma en un documento contractual de la obra. Es importante volcar en el Acta cualquier incidencia que consideremos relevante y que no perjudique el normal desenvolvimiento de la obra; ya que una vez firmada el Acta, únicamente por un imponderable es posible reclamar y volver marcha atrás. [9]

2.3. Comienzo de las obras

Cuando ya se posea toda la información necesaria, como planos, permisos y cualquier otro anexo terminado, se da por concluida la fase de diseño y la acción se traslada a la instalación en campo.

Las fases de una obra no serán siempre las mismas, ni son fijas o inmutables, siendo el técnico el que las definirá según las necesidades de la misma.

En caso de que hubiera que realizar canalizaciones, estas deberían hacerse en primer lugar. Primero mediante un movimiento de tierras o acondicionamiento del terreno, mediante excavaciones, compactaciones, terraplenes, etc. Después se procede a un despliegue general del cable junto con el equipamiento de la red, tanto activo como pasivo. Si existe equipamiento activo deben habilitarse además cables de potencia debidamente homologados para proporcionarles alimentación. Los detalles sobre las técnicas y metodologías utilizadas para las obras se detallarán en el capítulo siguiente.

Por último, se realiza una revisión y se recoge el estado final de la red y las posibles variaciones o contratiempos que no se hayan reflejado en el proyecto inicial. Después, se etiquetan minuciosamente cada cable, caja de parcheo o dispositivo, para facilitar posibles obras en el futuro si llegan a realizarse.

Una vez finalizadas las obras, la red estará lista para funcionar en calidad de pruebas. La duración de este periodo depende de los resultados de las mismas, obviamente, y también de los datos que aporten los usuarios en relación a la fidelidad del servicio. [10]

Capítulo III

Técnicas de montaje de una red de acceso

Durante el diseño de una red de acceso es importante realizar una planificación adecuada de la instalación para que, una vez den comienzo las obras, la técnica y los procedimientos puedan ofrecer un buen resultado. A lo largo del siguiente capítulo se detallarán los principales aspectos a tener en cuenta sobre el montaje, técnica y otras cuestiones imprescindibles para asegurar una instalación robusta y de calidad.

Será necesario inspeccionar el lugar afectado por la instalación y catalogar los tipos de urbes a los que se les dará acceso, para que la red esté capacitada para ofrecer un servicio adecuado a sus habitantes. Por otra parte, habrá que ofrecer una instalación adecuada según el tipo de edificio que proceda, por lo que es necesario contar con una instalación base para cada tipo de estructura. Por último, se explicarán los métodos más comunes para el despliegue de cable por canalizaciones y tendido de cable en fachadas o postes, junto con las precauciones para instalar equipamiento o nodos de distribución de fibra entre el emisor y los abonados.

3.1. Tipos de urbes para el despliegue

Ya se han visto en apartados anteriores aspectos relevantes a la hora de diseñar la instalación de una red de acceso. Esta sección pretende especificar los criterios de diseño sobre el despliegue de la red de fibra, señalando los aspectos más relevantes para cada tipo de urbe.

Debido a que el despliegue de la red se extenderá a lo largo de diferentes zonas metropolitanas y pasará por diferentes tipos de estructuras, el diseño tendrá como objetivo evaluar la solución óptima para cada tipo de urbe específica. Todos los diseños parten de la confluencia y el estudio de varias alternativas realistas pero sólo una debe

ser la solución escogida, que va a depender directamente de factores como densidad de población, características de los edificios afectados, distancia entre los mismos, etc.

Se puede proporcionar cobertura a las viviendas con varias de las propuestas explicadas a continuación. No obstante elegir la adecuada implica un diseño eficaz, lo que se traduce en una instalación de más calidad y menor coste e impacto visual. [10]

3.1.1. Grandes urbes

Aquellos lugares con una alta densidad de población, o con edificios muy altos y muy próximos unos de otros, son típicos de las ciudades, centros urbanos, áreas financieras etc. Aunque en España no es muy habitual topar con zonas de estas características, merecen un estudio independiente ya que sus necesidades son mucho mayores que las de una población corriente.

En una gran urbe abundan edificios altos y no residenciales, tales como centros de negocios, oficinas, etc. Esto hace que la mayoría de los edificios sea de nueva construcción, y cuente con cuarto de comunicaciones y arquetas disponibles para instalar el equipamiento. Por otro lado la escasez de zonas verdes posibilita un mayor número de canalizaciones, hecho de gran importancia si desea desplegarse un cableado masivo.

En ocasiones los edificios situados en una gran urbe necesitan gran ancho de banda para satisfacer las demandas de los empleados, o deben dar acceso a servicios específicos como procesado en nube o videovigilancia. Por lo que, en caso de una demanda muy elevada, se puede optar por “saltarse” un nivel de división y atacar el edificio con una fibra de nivel superior, que en una zona residencial correspondería a la fibra destinada a distribuir la cobertura por varias fincas.

3.1.2. Zonas residenciales

La mayoría del terreno a cubrir en una red de acceso estará clasificado como zonas residenciales. Sobre estos lugares la mayoría de edificios suelen ser bloques de viviendas, viviendas unifamiliares y pequeñas tiendas o lugares de ocio. También existen parques y zonas verdes.

En estas zonas las viviendas están más separadas unas de otras que en las grandes urbes, además hay una densidad de población sensiblemente menor. La mayoría de los edificios tienen pocas plantas y algunos no poseen recintos de comunicaciones o arquetas de entrada de cable. Sin embargo al tratarse de agrupaciones de viviendas es habitual encontrar canalizaciones aprovechables, tanto de luz como de agua corriente o incluso para comunicaciones.

La demanda de servicios de comunicaciones en este tipo de zonas no suele ser nada fuera de lo habitual. Los usuarios residentes o las pequeñas PYMES demandan un acceso de banda ancha suficiente para aplicaciones de internet comunes, por lo que el enlace de bajada es mayor que el de subida. Además de internet de banda ancha, las compañías operadoras generalmente ofrecen servicios como telefonía o video bajo demanda.

3.1.3. Zonas de escasa población

En ciertas zonas con baja densidad de población y edificaciones muy separadas unas de otras, tales como polígonos industriales, complejos de almacenes, centros deportivos, grandes superficies comerciales, etc. debe considerarse la viabilidad del proyecto; puesto que un despliegue en un área muy extendida con pocos abonados podría resultar en un principio poco rentable económicamente.

Un diseño sobre este tipo de zona resulta más complicado, ya que debe considerarse el despliegue a través de un largo terreno junto con edificios no residenciales que generalmente no tienen recinto de comunicaciones. Las canalizaciones son además un elemento clave, ya que si no están disponibles es preferible desplegar por fachada o amarrar la fibra a postes, en lugar de excavar una canalización que probablemente no rentabilice el proyecto.

Dada la gran distancia que pueden alcanzar estos despliegues, muchos diseños optan por colocar amplificadores en lugar de habilitar varios nodos de acceso. Además, para disminuir el coste, se colocan puntos de retorno para los conductos y cables desde el nodo que da acceso a la zona, de manera que se suple la falta de redundancia que proporcionan varios nodos de acceso.

3.2. Tipos de edificaciones

A la hora de realizar un diseño de una instalación a una red de acceso doméstica, deben tenerse muy en cuenta cada una de las características del tipo de edificio sobre el que se va a diseñar. La existencia o no de arquetas de comunicaciones, ubicaciones para nodos de acceso o canalizaciones urbanas causa un gran impacto sobre la calidad de la instalación, y sobre el balance económico del proyecto final.

A continuación se detallarán las técnicas y procedimientos habituales en los tipos más característicos de los edificios: los bloques de viviendas y las viviendas unifamiliares. También se reserva un último apartado para los tipos de diseño más específicos en viviendas no residenciales. [9]

3.2.1. Bloques de viviendas

Los bloques de viviendas son edificios de varias plantas en los que habitan varios residentes por planta. Este tipo de edificio está muy extendido y puede encontrarse individualmente, aunque lo más frecuente es que forme parte de una agrupación de viviendas del mismo estilo.

Para asegurar una red de alimentación capaz de proporcionar acceso a cualquier agrupación de bloques de viviendas, se recomienda instalar un cable óptico de 8 fibras como mínimo en la red urbana. Para la distribución a las viviendas, se instalará un conversor opto-eléctrico en la arqueta habilitada al paso de la red de alimentación, para continuar por cable coaxial hasta el interior de cada vivienda.

En caso de fibra hasta el edificio o fibra hasta el hogar, se instalará un divisor en una caja de empalmes perteneciente a la red de alimentación para desplegar una única fibra a cada edificio, introduciéndola por la arqueta de entrada o por la misma pared de la estructura, en caso de una instalación de fachada. Ya dentro del edificio, la fibra llegaría a un conversor opto-eléctrico u otro nuevo divisor óptico, según los criterios de ingeniería del diseño, para el caso de una fibra hasta el edificio o una fibra hasta el hogar, respectivamente.

Para las instalaciones de interior se puede optar por que los cables sigan recorridos conjuntos, o por que recorran trayectos distintos. Siempre que sea posible se sigue la normativa ICT de instalaciones para interior, por lo que el cable parte desde la caja de empalme mediante una canalización principal, que asciende hasta la planta más alta del edificio. Cada vez que esta pasa por una vivienda, distribuye un cable dedicado a cada propiedad por una canalización secundaria mediante la instalación de un registro en cada planta. En el caso de que la caja de empalme se instalase en alguna azotea, la canalización principal descendería en lugar de ascender, pero por lo demás el recorrido es el mismo.

Los empalmes que se realizan en el interior de los edificios, generalmente se ubican en una sala situada en la planta baja o sótano del edificio, en España denominada R.I.T.I. (Recinto de instalación de telecomunicaciones interior). En el caso de que el edificio no posea R.I.T.I. o algún otro recinto adecuado al efecto, las cajas de empalme pueden situarse en sótanos, azoteas, falsos techos o en la misma fachada del edificio si se cuenta con una caja de empalme para exterior.

En una agrupación de viviendas de este estilo es posible que la densidad de propiedades aumente sensiblemente. Tanto que la capacidad del nodo se vea limitada por el número máximo de usuarios que se pretende cubrir en lugar de la distancia máxima de los enlaces de fibra como es habitual, ya que los criterios de división son únicos para todo el sistema y no dependen de la densidad de propiedades de una zona concreta. Cuando esto ocurre es necesario emplazar nuevos nodos de alimentación, siempre el mínimo número posible para cubrir el área de estudio.

Por último la fibra o el coaxial termina en el registro del usuario, donde se conecta a su cable router o a su terminal óptico particular. La proximidad entre las viviendas dentro del bloque es suficiente como para ofrecer una cobertura normalmente del 100%, aun en el caso de no ser abonados inmediatamente. La figura 3.1 muestra la sección de un edificio con un ejemplo de instalación de interior basada en fibra hasta el hogar. [9]

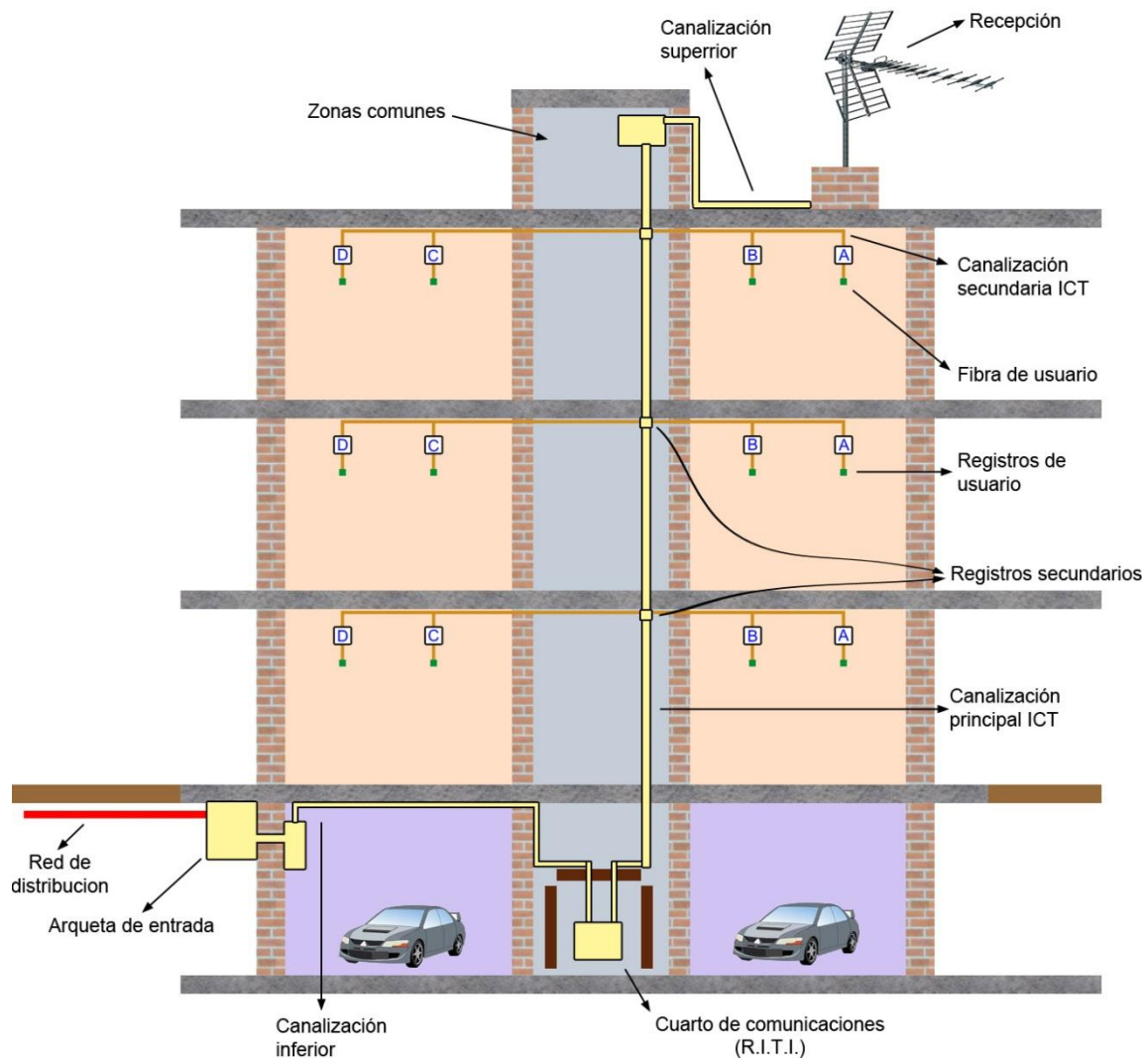


Figura 3.1: Instalación de interior en un bloque de viviendas

3.2.2. Viviendas unifamiliares

Los edificios donde habita una única persona o unidad familiar, se denominan viviendas unifamiliares. Los territorios que contienen multitud de viviendas unifamiliares son, en ocasiones, extensos y esto provoca que el acceso en este tipo de instalaciones normalmente venga limitado por la distancia al nodo de acceso, en lugar de por el máximo de abonados conectados a él.

Además de para las viviendas unifamiliares, este tipo de instalación también es apropiada para ciertos edificios que carecen de residentes pero que ocupan grandes áreas cartográficas con pocos abonados, como colegios, hospitales, ciertas naves industriales, iglesias o edificios administrativos. La instalación es en ocasiones específica y particular según la construcción o tipo de edificio, aunque generalmente se puede englobar dentro de este colectivo, al menos a los efectos de distribución de fibra hasta el mismo.

Al ser la distancia el principal problema en despliegues sobre agrupaciones de viviendas unifamiliares, la solución más práctica consiste en distribuir los nodos para la red de alimentación en un punto central a todos ellos. De manera que cada vivienda quede conectada a la red mediante un único enlace punto a punto desde la arqueta comunitaria para redes de fibra hasta el edificio, o hasta la misma vivienda en redes de fibra hasta el hogar. Al igual que en la instalación sobre bloques de viviendas los empalmes y equipamiento se colocarán en la caja de empalme al paso de la red de alimentación, o bien en la arqueta comunitaria en el caso de redes de fibra hasta el edificio o fibra hasta el hogar.

Para economizar costes, hay veces que no se despliega red de fibra a lo largo de todas las agrupaciones o viviendas disponibles al paso de la red urbana o red de alimentación. En lugar de ello se instala la red hasta la caja de empalmes de cada comunidad, y a partir de ahí a cada vivienda en particular según se vayan abonando al servicio. En caso de las viviendas unifamiliares aisladas o edificios no residenciales como escuelas o polideportivos, se deja la fibra en paso cerca de ellas, pero se reserva espacio por si en un futuro decide abonarse, para colocar una caja de empalmes y poder suministrarle servicio.

Por último, se debe mencionar que las empresas, oficinas, y otras instituciones situadas sobre un edificio con varias plantas a las que ofrecer servicio también podrían considerarse bloques de viviendas. No obstante la mayoría de ellos optan por llevar un cable hasta el edificio y a partir de ahí, enlazar con la red de cobre interna del edificio, generalmente ya instalada y de altas prestaciones. Por lo tanto esta clase de edificaciones se considera a efectos prácticos, como una vivienda unifamiliar. [9]

3.3. Técnicas de despliegue

Una vez la fase de diseño ha concluido con todos sus diseños, planos y anexos necesarios, se pone en marcha el despliegue de fibra con todas las obras necesarias para llevarlo a cabo.

3.3.1. Cable enterrado

El método óptimo para desplegar una red de fibra es sin duda el cable enterrado. Este tipo de instalación posee grandes ventajas, como una alta fiabilidad y protección del cable, además de un menor impacto visual. Sin embargo, con frecuencia es necesaria la excavación de canales o zanjas, lo que eleva considerablemente los costes de instalación, hasta lo suficiente como para decantarse en muchos casos por otra técnica más asequible.

En su recorrido por el subsuelo, la fibra confina todo el cableado central de las fincas que le rodean en el menor número de zanjas posibles, para disminuir el coste del despliegue. Esto hace que la técnica sea apropiada para una alta densidad de usuarios y se planifique para el mayor número de años posible.

Para procurar durabilidad a dicha instalación, deben de utilizarse materiales especiales capaces de soportar la presión de la tierra sin sacrificar por ello prestaciones. El conducto instalado debe suministrar esta protección frente a la presión de la tierra, al igual que la presión del aire requerida para la instalación de unidades de fibra o cables si se usan técnicas de soplado. Además, debe procurar la impermeabilidad necesaria, manteniendo cierta holgura con el mismo, ya que de lo contrario existiría riesgo de compresión o tensión de la fibra.

Entre tramos, es recomendable habilitar cavidades y accesos destinados a la reparación o sustitución de cableado o equipamiento defectuoso, facilitando las operaciones de mantenimiento. También servirán para realizar los empalmes necesarios en el caso de que se realizara en el futuro un proyecto de ampliación. Estos accesos deben habilitarse de acuerdo con la planificación llevada a cabo durante el diseño, manteniendo el compromiso entre la disponibilidad de espacio a lo largo del trayecto junto con la necesidad de suministrar un punto de control para el acceso a la fibra. En dichos puntos se instalará una arqueta o caja de empalme entre conductos que permitirá la manipulación de la fibra, habilitando el espacio suficiente para cualquier operación necesaria, ya sea la sustitución de la fibra, la realización de un empalme, o el enrollamiento del cable sobrante en las bandejas habilitadas.

Para proteger el cable, los conductos mantienen un entorno alcalino dentro de ellos que los aísla de los efectos del exterior. Aunque la temperatura en el exterior alcance niveles extremos, los cables permanecen aislados del aire externo. Esto, junto con una impermeabilidad adecuada de los conductos, suele ser suficiente para asegurar un margen de funcionamiento entre -15° y 40° C. En caso de que no pueda alcanzarse, debe averiguarse la fuente del problema y tratar de compensarlo.

En función de la cantidad de cables a desplegar y del grosor que estos posean se debe colocar un conducto de un grosor determinado. En ciertas redes se procura instalar conductos del orden de 1,5 veces el diámetro del cable que contiene, si bien algunas configuraciones recomiendan un radio incluso mayor en caso de albergar cables de diferentes tipos.

La profundidad del cable está sometida a las normativas municipales respecto a las obras, aunque generalmente se recomienda enterrar el conducto a una profundidad de 0,35 metros para zonas verdes o pavimentos, y una mayor profundidad para las calles de asfalto (a partir de 0,55 m).

Para instalar el conducto se suele emplear tanto la técnica del enterrado como la excavación. El enterrado de cable se realiza de forma sencilla y económica aunque, dado que provoca cierto impacto visual, solo es apto para áreas no pobladas o enlaces

de larga distancia donde las perforaciones no sean viables. En el transcurso de la obra es recomendable mantener ciertas precauciones como pre-evaluar el terreno para salvar imprevistos, tratar de evitar obstáculos, o transportar de una vez todo el material necesario a la zona afectada.

Durante el enterrado es recomendable que la fibra permanezca en un desnivel más o menos constante. Aunque si es necesario, puede ascender o descender gradualmente para solventar obstáculos o curvas agudas en su trayecto, siempre dentro de unos límites aceptables.

El proceso de enterrado de cables debe realizarse de manera reversible, esto es, una vez finalizada la obra los conductos podrían desenterrarse en el futuro para llevar a cabo revisiones periódicas o cambios en la instalación. Si se diera el caso de que se produjera un temblor de tierra o cualquier fenómeno que provocase un cambio de nivel relativamente abrupto en los conductos, también deberían ser desenterrados. Esto se realiza de forma sencilla, excavando y desenterrando previamente los conductos, para así acceder al cable en su interior.

En las ciudades en cambio, la existencia de calles y zonas asfaltadas presenta un impedimento para el enterrado de cables. Además, en estas zonas es ya habitual encontrarse con diversas canalizaciones como luz, agua, gas, etc. Por lo tanto, para el despliegue en zonas pobladas es más apropiado cavar zanjas para desplegar ahí los conductos, o bien utilizar las canalizaciones existentes ya mencionadas. En caso de que el cable cubra un largo trayecto, será necesaria una preparación previa y una planificación precisa de cara a la instalación de conductos.

El método de enterrado de cables es más rápido que el de excavado y perforación. Mediante el primero se pueden instalar hasta 6 km de conductos en tan solo dos días. El método de cavado de zanjas es más lento debido generalmente a la naturaleza del procedimiento que exige cavar manteniendo la precaución de no entrar en conflicto con otras excavaciones previamente realizadas.

Cuando se cava una zanja, la parte inferior de esta es rellenada con 5 cm de arena para suavizar el nivel del fondo y evitar así los desniveles a lo largo del trayecto. Tras

colocar un conducto, si fueran necesarios más se colocarán guardando un espacio entre sí de unos 5 ó 10 cm, y rellenando este hueco con arena. El tamaño de las zanjas varía en función de cuántos conductos es necesario instalar. Las más grandes pueden contener decenas de ellos, y para instalaciones más pequeñas se pueden cavar zanjas más estrechas que contengan tan solo uno o dos conductos.

Los conductos deben de asegurar tramos rectos entre empalmes y puntos de unión, evitando los giros bruscos en estas zonas sensibles para mejorar la operatividad en ellas. Además, en el caso de que los conductos pasen a través de parques, zonas verdes, o áreas con vegetación deben cavarse zanjas a la profundidad necesaria para que estas no perjudiquen la instalación.

Una vez instalados los conductos, y tras separarlos con la capa de arena pertinente, antes de rellenar la zanja por completo se coloca una cinta de aluminio o plástico con un texto de advertencia, separada unos 10 ó 20 cm de la capa de arena que envuelve los conductos, para señalar de la existencia de los mismos a cualquier obra que pudiera realizarse en las inmediaciones y de esta forma, evitar posibles daños a la instalación.

[9]

3.3.2. Instalación de cables en conductos

A pesar de que en la actualidad existen técnicas mejoradas para instalar cables y micro conductos, resulta de utilidad describir una instalación típica, ya que estas técnicas aún siguen en uso. Las diferentes técnicas para instalar cables en conductos son:

- Instalación tradicional con guías pasacables
- Soplado con aire comprimido o con agua

Estas técnicas aún siguen usándose para la instalación de cables en conductos tanto dentro de los edificios, como en exteriores.

En la instalación más tradicional, se introduce un tipo de cuerda específica llamada pasacables por el recorrido del cable. En el otro extremo se ata el pasacables al cable óptico, de manera que cuando el pasacables es extraído por un compresor se introduce

el cable de fibra en el conducto. En caso de recorrer distancias superiores a 1 km, o atravesar demasiadas esquinas o curvas en su trayecto, se debe extraer el pasacables en algún punto intermedio, antes de llegar al final del recorrido, como se muestra en la figura 3.2.

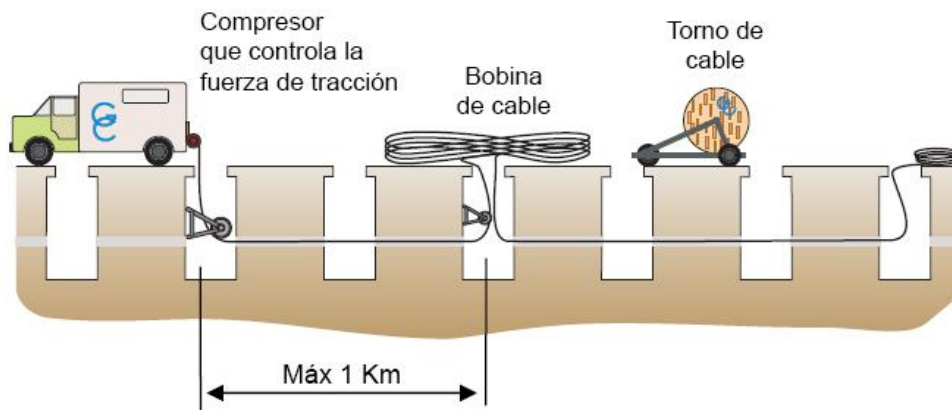


Figura 3.2: Instalación de cable en conducto mediante pasacables

En caso de no ser practicable el método anterior, pueden utilizarse pequeños compresores accionados a motor en los puntos intermedios, para así evitar la extracción de grandes longitudes de cable de nuevo a la superficie. Estos dispositivos no pueden superar la distancia de 300 m entre ellos y deben operarse de manera sincronizada, para evitar someter el cable a excesiva tensión. Un ejemplo de este método puede observarse en la figura 3.3:

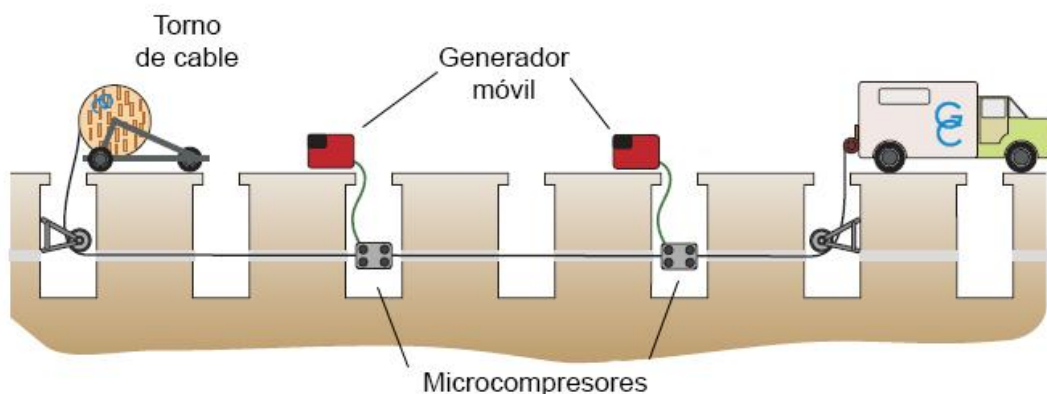


Figura 3.3: Instalación de cable en conducto mediante pasacables y microcompresores

Por último, conviene señalar que se debe monitorizar la fuerza con la que se extrae el pasacables, dado que una excesiva fuerza axial puede dañar el cable. Para controlar la extracción puede usarse equipamiento informatizado conectado al compresor; de

esta forma pueden especificarse parámetros como la fuerza y la velocidad de la extracción. El método de extracción con pasacables solamente es recomendado si se cuenta con instaladores experimentados en la materia.

El soplado de cable óptico es un método muy práctico para introducir el cable en conductos, ya que presenta ventajas para el manejo y la calidad de la instalación. Este soplado consiste básicamente en introducir en el conducto una intensa corriente de aire junto con el cable, para que vaya empujándolo a lo largo de todo el recorrido dentro del conducto. La primera parte del conducto se fija a un dispositivo de alimentación, que empuja el cable. A continuación, el aire comprimido lleva el cable a través del conducto.

Los cables (o microconductos) instalados por soplado están menos expuestos a fuerzas axiales, lo que permite el diseño de una instalación más simple. Para instalar un cable por soplado deben cumplirse ciertos requerimientos, como que el cable no sea demasiado rígido. Además el cable debe ser uniforme para prevenir fugas en los extremos de los dispositivos. El diámetro interior del conducto debe ser de al menos 1,5-2 veces el diámetro del cable o microconducto que va a ser soplado. El conducto deberá ser de baja fricción para ofrecer una reducida resistencia al avance del cable.

Las técnicas de soplado pueden variar ligeramente dependiendo del técnico encargado, pero un requisito común es que los canales y los empalmes deberán ser capaces de manejar las presiones de aire de hasta 10 bares. Los conductos actuales se fabrican a menudo a partir de polietileno de alta densidad, de entre 10-50 mm de diámetro. Las distancias máximas de soplado son de hasta 1.000 m.

Además de aire comprimido, también es posible utilizar agua para el soplado. Esta variación puede ser utilizada en el caso de distancias más largas sin puntos de extracción intermedios, por ejemplo, canalizaciones subterráneas ya existentes, metros, ferrocarriles o alcantarillado. Mediante este método pueden alcanzarse hasta 3-4 km de longitud, sin embargo se requiere espacio suficiente en el interior del conducto para que el agua pueda fluir por él y pueda ejercer tracción sobre el cable. [9]

3.3.3. Tendido de cable aéreo

En ciertas instalaciones es preferible optar por el despliegue de un cable aéreo a la vista, como por ejemplo un tendido a través de fachadas o postes, en lugar del cable enterrado. Este tipo de despliegues son más económicos que los conductos subterráneos (obvio ya que no es preciso realizar ninguna excavación), además son capaces de salvar obstáculos, lo que los dota de flexibilidad y una facilidad a la hora de la instalación. Por el contrario, el tendido de cable provoca un mayor impacto visual en el entorno que le rodea, más aún si este pasa por un área de tránsito. Además, al estar a la vista, es vulnerable ante sabotajes e inclemencias del entorno que pueden afectar a la integridad de la instalación.

Desplegar el cable mediante un tendido aéreo es la principal opción en caso de que un acceso subterráneo sea descartado, bien porque el edificio no posea canalizaciones o arquetas de entrada de este tipo, bien porque los conductos enterrados se topen con algún obstáculo que provoque que el coste para sortearlo sea mayor que el de instalar un acceso a la superficie. Además, en las redes de larga distancia no suelen existir conductos preparados para instalaciones de telecomunicaciones, por lo que el cable aéreo suele resultar la opción más rentable. [9]

Para instalar el tendido se emplean postes de madera como los utilizados en las redes de cobre, muy frecuentes en, por ejemplo, la red telefónica. En caso de enlaces de larga distancia pueden usarse los postes de aluminio de alta tensión o, si el tendido discurre a lo largo de la calle, puede adherirse a la fachada de las estructuras. De esta forma, se evita el despliegue de soportes adicionales para el cable, con lo que disminuyen los costes. Por último, se debe destacar que en las redes de alimentación este método se vuelve más habitual en aquellos despliegues con pocos usuarios, o usuarios muy alejados entre sí; ya que instalar un acceso a la superficie para cada uno de ellos no resulta práctico.

Respecto a las técnicas para el montaje, el principal inconveniente reside en que el propio cable debe soportar la fuerza de su peso, lo que podría deteriorarlo con el paso del tiempo. Para evitarlo, se fabrican cables preparados para el montaje aéreo, como el cable autoportado. Este tipo de cable posee entre la cubierta y la fibra óptica un

material de tracción, que evita que las tensiones afecten a la fibra. Otros ingenieros optan por fabricar un cable que lleva una guía metálica pegada a él, separada por la cubierta. De esta forma, es la guía la que soporta todo el esfuerzo mecánico, mientras que la fibra tan solo cuelga de él. A continuación se muestra, en la figura 3.4, un ejemplo sobre el montaje de cable aéreo más simple: amarrado a un poste. [11]

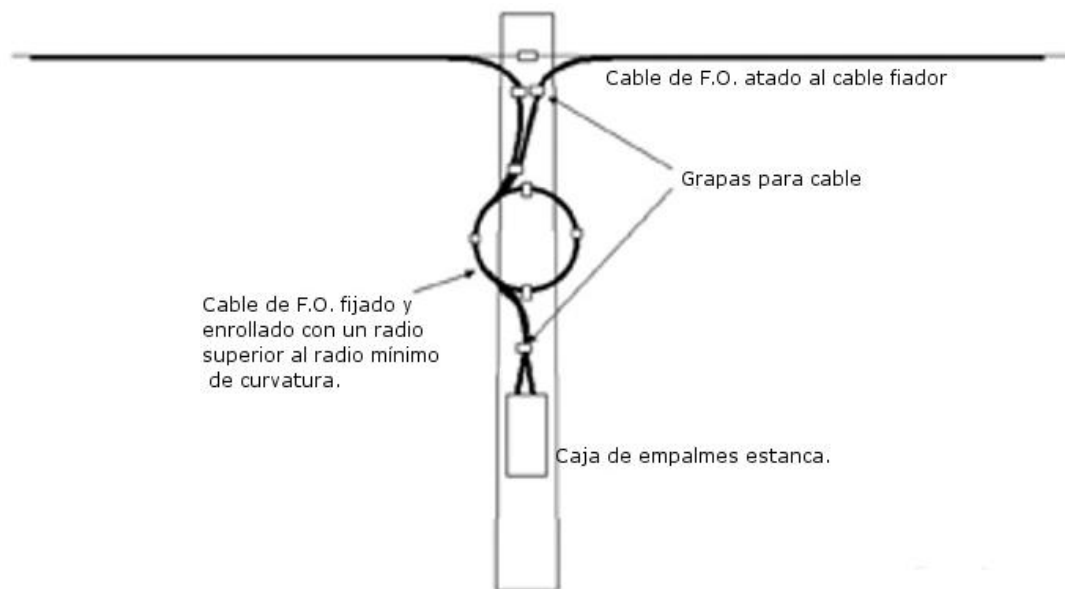


Figura 3.4: Amarrado de cable a un poste

También es posible utilizar, para la instalación de cable aéreo, un cable existente envolviendo o amarrando la fibra a él, siempre y cuando el peso del conjunto no comprometa la integridad de ambos y garantice un pleno funcionamiento. En el caso de coexistir cables eléctricos de potencia en el mismo trayecto también pueden utilizarse para este fin. Para estos montajes es preferible instalar el cable dentro del cable de tierra, ya que al poseer potencial eléctrico nulo simplifica la instalación. [9]

Y por último, para las instalaciones de fachada, el cable se grapa a la misma mediante unas grapas de acero. Estas grapas generalmente tienen capacidad para un único cable. Este método permite cubrir varias viviendas con un único despliegue, pero para ello el cable debe pasar a través de varias propiedades, siendo preciso para ello el permiso de cada uno de los residentes afectados por el paso del cable, no solo de los finales. Tras el grapado del cable, se realiza una perforación para que este penetre al edificio y se despliegue la vertical a través del mismo.

3.3.4. Instalación de interior

Una vez dentro de un edificio, la instalación de fibra óptica podría entrar en conflicto con el resto de cableado que llega hasta él. Cualquier tipo de vivienda posee gran cantidad de cables instalados en su estructura, tales como cables de potencia y energía, telefonía, televisión y a veces radio, sobre todo los bloques de viviendas y pisos. El despliegue de estos cables pasa por unas bandejas y conductos hasta distribuirse por cada planta, de acuerdo con la normativa sobre infraestructuras comunes de telecomunicación (ICT) en edificios.

Sin embargo, el despliegue de fibra óptica por el interior de estructuras no está exento de inconvenientes. Los cables de exterior no pueden atravesar el interior de un edificio, pues el gel con el que se rellenan los cables de fibra es inflamable, y a través del mismo, en caso de incendio, puede propagarse la llama; además, estos cables llevan cubiertas que no cumplen con las exigencias de resistencia a la llama y no propagación de humos para cables alojados en el interior de edificios. Por otro lado, resulta complicado que estos cables se mantengan en posición vertical a lo largo de los conductos de ICT del edificio, ya que este mismo gel tiene tendencia a migrar hacia la parte más baja del tramo, invadiendo, con el tiempo, los registros del RITI o las cajas de empalme.

Para evitar estos problemas se utilizan los denominados cables *riser*; un tipo de cable para interiores, sin gel, ajustado a la fibra, y de menor volumen y peso que el cable terrestre convencional. Los cables *riser* se encuentran expuestos a fuerzas longitudinales debido a su propio peso, que pueden alcanzar una gran magnitud en edificios de gran altura. Por lo tanto, es necesario en estos casos amarrar o anclar el cable por cada metro de tendido con grapas, correas, o cualquier otro elemento de sujeción, y además lo suficientemente holgado como para no dañar el cable y crear pérdidas de señal en la fibra. [12]

Por otro lado los cables de cobre convencionales son muy pesados en comparación con la fibra óptica y su propio peso puede llegar a aplastar la fibra, perdiendo parte de la señal transmitida. Por ello es recomendable proteger los cables ópticos de los cables de cobre y del resto de las instalaciones en conductos y bandejas y, si el cable óptico se

instala bajo un cable de cobre, puede protegerse con un tubo especial. Además, un cable óptico siempre debe ser instalado lo más lejos posible de cualquier agente que pueda infligirle daños mecánicos, como por ejemplo el paso de automóviles, carretillas o personas; y se debe evitar cualquier daño durante la instalación, respetando las especificaciones mínimas de radio de curvatura o tensión del cable.

Según la normativa ICT, el cable entra desde la arqueta exterior mediante un punto de entrada por donde accede a la zona común del inmueble. A través de estas canalizaciones se reciben también otros servicios como la línea RTB (teléfono), o las redes de servicios integrados (RDSI). En algunos casos excepcionales si la acera no tiene la anchura suficiente o si está prohibida la instalación de arquetas en el suelo, esta se puede sustituir por un armario instalado en el exterior, capaz de albergar los servicios de la arqueta de entrada. Si el acceso al edificio es por fachada, entonces la caja de empalme se amarraría en la misma fachada junto con el cable óptico, y se designará un punto de entrada al interior de la misma forma que se hace con la red de cobre.

Una vez dentro, el cable se extiende hasta llegar al recinto de comunicaciones del edificio, de donde partirán las verticales que distribuyan la fibra a cada vivienda. Durante el recorrido del cable hay situados registros de comunicaciones. Se coloca uno cada vez que se alcanzan los 30 m de cable, cada vez que la trayectoria cambia de dirección, o cada vez que el cable se bifurque en cada piso. Los registros adicionales se colocan de varios tamaños, en función de la cantidad y el tamaño de los tubos que pasen por ellos. Finalmente, para introducir la fibra en la vivienda se instala un registro de terminación de red, al que tendrá acceso el técnico que acuda a la vivienda en el momento que el residente decida abonarse al servicio. [13]

Todas las redes FTTH finalizan hacia el lado del usuario en una fibra en punta o desnuda, terminada en un registro lo más cercano a la puerta de entrada a la vivienda y, si es posible, cerca de un enchufe de corriente. Un lugar apropiado para la instalación de los registros de usuario es el recibidor de la vivienda o cualquier otro punto central, como el interior de un armario de ropa, e intentando dejar siempre espacio suficiente para futuras ampliaciones de equipamiento (de ahí la necesidad de

la proximidad de las tomas de corriente). Si fuera necesario mover mobiliario de las viviendas, siempre será responsabilidad del residente, y el instalador deberá realizar una limpieza de la zona afectada tras el trabajo.

3.3.5. Instalación de nodos

La instalación de nodos de acceso pasa por ciertas recomendaciones y aspectos a tener en cuenta. Dentro de un nodo de acceso se sitúan la mayor parte de dispositivos activos, como los transmisores, y son el punto de partida de la red que proveerá de acceso a los usuarios, y de la red que enlaza con otros nodos y conforma la red urbana. Es por ello que la calidad de la instalación de nodos de acceso en una red de fibra puede resultar crítico para el funcionamiento de la misma.

El diseño del nodo de acceso depende fundamentalmente del servicio que se vaya a ofrecer, y de su cuota de uso. Dentro del mismo se situarán los elementos de red (switches, routers, transmisores ópticos, etc) y también sistemas de control como ordenadores o servidores. En el caso de ofrecerse servicios adicionales como televisión digital, el nodo deberá contar con el equipamiento necesario para poder suministrar el servicio, en este caso, un transmisor óptico de vídeo.

El nodo debe situarse en un punto adecuado para cubrir el mayor número de usuarios posible dentro de su radio de cobertura. El emplazamiento adecuado, así como el área que cubrirá cada uno, es diseñado con antelación por los ingenieros en la fase de planificación, mediante los estudios geológicos y los replanteos realizados por técnicos adecuados.

El edificio en el que esté situado el nodo debe contar con sistemas básicos de seguridad: salidas de emergencia, extintor y alarmas; y es recomendable contar con buena ventilación e incluso climatización en caso de alcanzarse temperaturas extremas para el equipamiento instalado.

Los nodos de nivel inferior, tales como los nodos de distribución o las cajas de empalme de los edificios carecen de cualquier dispositivo activo, lo que hace que su mantenimiento se vea considerablemente reducido. Sin embargo, deben situarse de

acuerdo a un fácil acceso para el caso de rotura o deterioro, o simplemente realizar nuevos empalmes cubrir nuevos usuarios. Las ubicaciones recomendadas para albergar estas cajas de empalme son las centrales de televisión por cable o de energía y, para el caso de las viviendas sótanos, garajes o falsos techos. [9]

3.4. Instalación de dispositivos y empalmes

El equipamiento activo de la red incluye generalmente amplificadores ópticos y dispositivos compensadores de la dispersión. Sin embargo las redes de acceso cubren distancias relativamente pequeñas entre la central y los usuarios. De manera que en algunas tecnologías se prescinde por completo del equipamiento activo desde el transmisor y el receptor (FTTH).

No obstante, en caso de ser instaladas deben tomarse ciertas precauciones. Deben instalarse en lugares adaptados, esto es, aislándolos de agentes perjudiciales como la humedad de la misma forma detallada en el apartado anterior. Las arquetas o sótanos siguen siendo las opciones más adecuadas para contener dicho equipamiento.

Todo dispositivo instalado en una red óptica debe ir encapsulado de forma que no sea susceptible de manipulaciones no autorizadas, sabotajes, etc. A través de las cerraduras y equipos de alarmas se pueden proteger en cierta medida, pero para una mayor seguridad se recomienda exponer el cable lo menos posible, dificultando así el acceso.

Una vez el equipo está instalado y configurado, es necesario realizar una prueba de reflectometría. La instalación la fibra puede presentar problemas, generalmente un empalme o conector mal realizado, en cuyo caso el resultado de la prueba localizará el tipo de fallo y la distancia al mismo.

Por último, todo equipamiento y empalme debe contar con un etiquetado para su identificación. Así en el caso de futuras revisiones o reemplazos se evitan posibles dudas o malentendidos al operario de mantenimiento. Durante el despliegue del

sistema este procedimiento resulta complicado, ya que frecuentemente surgen problemas que obligan a realizar sobre la marcha ciertas variaciones del proyecto inicial. Para evitar complicarlo aún más, este etiquetado no se realiza hasta que todos los elementos hayan sido instalados. [9]

Capítulo IV

Diseño, despliegue e instalación de una red FTTH

A continuación y tras haber estudiado todas las características, cuestiones técnicas y recomendaciones de diseño descritas en capítulos anteriores, se procederá al diseño de una red de acceso real, o al menos a una parte de ella.

Será necesario contar con todos los elementos propios de un sistema de fibra óptica para que, aplicando procedimientos de planificación e instalación y diseño de una red de acceso, se pueda realizar una instalación del sistema en campo con resultados reales.

4.1. Objetivos del proyecto

El modelo planteado es el siguiente: un operador neutro de infraestructura óptica pasiva pone en marcha un proyecto de ampliación de su red de acceso de fibra óptica desde una gran urbe hasta una zona residencial; y al igual que con el resto de la red, cederá el uso de la misma a diferentes operadores de cable existentes en el mercado.

El proyecto contempla la información relativa al diseño y planificación de la arquitectura de red escogida para el despliegue de la red de acceso, junto con el estudio de las fases y procedimiento de diseño; además incluye la información relativa al suministro e instalación de todo el material y componentes necesarios para desplegar la infraestructura óptica de una red de acceso, que engloba desde el nodo de alimentación instalado para toda la zona, hasta el terminal de cada usuario particular; junto con la valoración económica del proyecto completo detallado por partes.

4.2. Consideraciones generales de diseño

Para poder realizar correctamente un diseño de fibra óptica, es necesario conocer cierta información relevante para el proyecto, como el escenario de despliegue, estudios socioculturales que establezcan el nivel de cobertura de la fibra, etc.

Parte de esta información se ha de tomar como medida de referencia y punto de partida para el inicio del diseño del proyecto, mientras que otra puede causar efecto sobre el mismo, hasta el punto de modificarlo sensiblemente o retrasarlo. Una vez valorados y estudiados estos datos, se procederá a plantear la solución óptima que permitirá establecer una red de acceso en las áreas correspondientes.

4.2.1. Escenario de despliegue

El área de despliegue consiste en tres bloques de viviendas multifamiliares, situadas enfrente de tres fincas con una vivienda unifamiliar contenida en cada una de ellas, pertenecientes a una pedanía o pueblo pequeño. La selección de estas viviendas concretamente se debe a que con este modelo, se contemplan la mayoría de los casos prácticos de un despliegue total de fibra óptica.

Los 3 bloques de viviendas corresponden a edificios de nueva construcción que cuentan con ICT según normativa vigente, y por lo tanto están capacitados para albergar una instalación de fibra óptica. Las fincas unifamiliares por el contrario, son edificios de notable antigüedad, sin ningún tipo de instalación de telecomunicaciones.

El barrio en el que se ubican estos edificios corresponde a un área de escasa población, que pudiera ser una ciudad dormitorio, pedanía o pueblo cercano a una gran urbe de la que proviene la red de alimentación que dará servicio a todas las viviendas de la zona. Esta conexión se realiza instalando un nodo de alimentación dedicado a esta comunidad, y uniéndola con el resto de la red urbana mediante una red de larga distancia, como se explicó previamente en el capítulo anterior.

A continuación se muestra en la figura 4.1 un ejemplo de conexión entre la red urbana y su ampliación de cobertura hacia un área de escasa población.

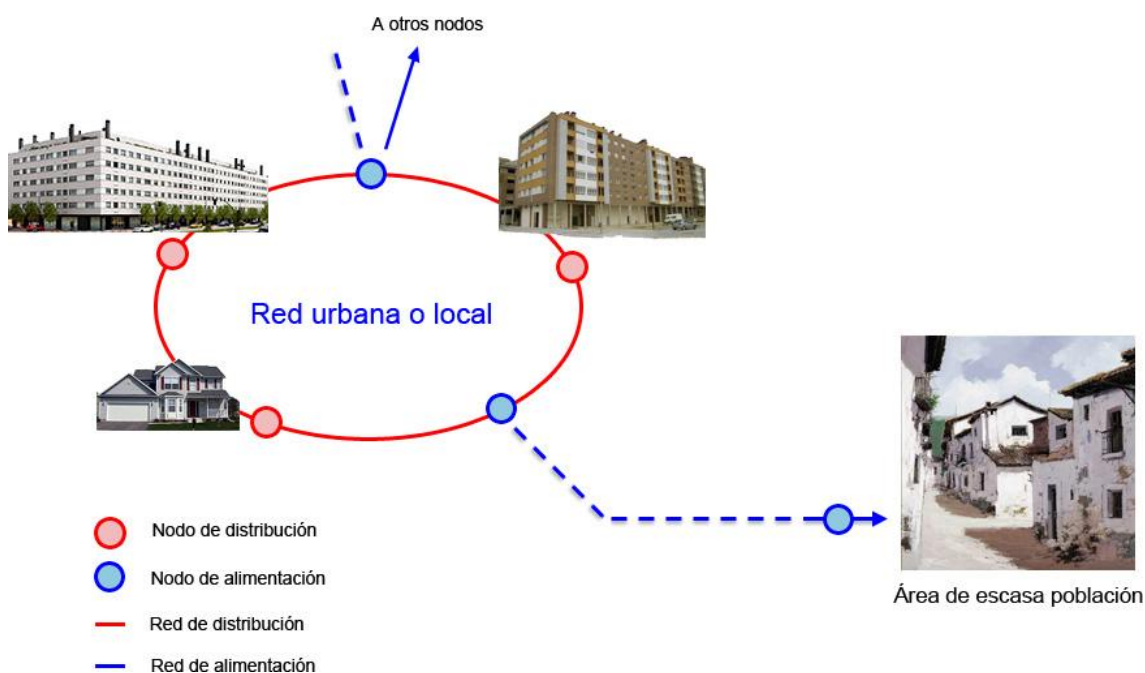


Figura 4.1: Extensión de una red urbana, hacia un área con escasa población

4.2.2. Especificaciones técnicas de la red

El diseño de la red de acceso se basa en la tecnología de telecomunicaciones FTTH, descrita en el capítulo 1 del presente proyecto. Los despliegues basados en FTTH utilizan redes PON (redes ópticas pasivas) para la transmisión bidireccional de señales de fibra óptica punto a multipunto. Su gran fiabilidad y bajo coste inicial en relación a otras tecnologías de fibra óptica (debido a que no necesitan equipamiento activo), las sitúa como la mejor solución para este tipo de despliegues.

La red emplea un único transmisor de fibra ubicado en el nodo de alimentación designado por la compañía de telecomunicaciones, para dar servicio a todas las viviendas de la zona. De esta central parte la red de alimentación que recorre todo el área para ramificarse en redes de distribución, las cuales llevan la fibra a cada edificación o conjunto de ellas, según resulte conveniente. En algunos edificios, sobre todo en los bloques de viviendas, esta red se ramifica dando lugar a la red de dispersión, que distribuye una única fibra para cada residente. A continuación se muestra un esquema de esta arquitectura arborescente en la figura 4.2.

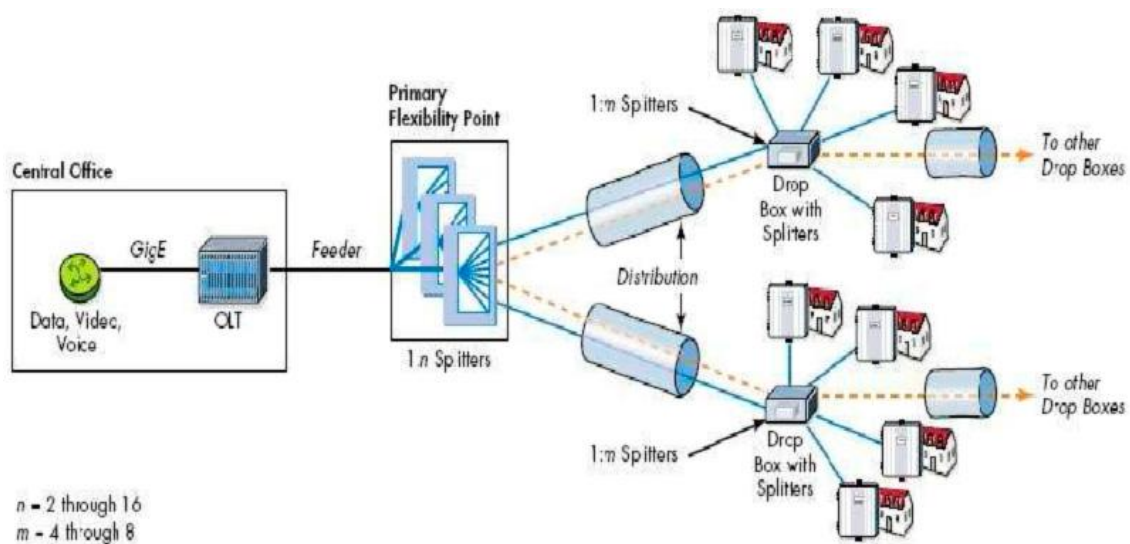


Figura 4.2: Arquitectura de una red PON, particularizada para FTTH

Toda esta estructura arborescente está constituida únicamente por *splitters* o divisores ópticos ubicados en cajas de registro situadas en el trayecto de la fibra. Esto hace que el coste de mantenimiento disminuya en gran medida, y además facilita cualquier ampliación de la red en el futuro, si la hubiera.

De acuerdo al estándar GPON, la señal de la fibra se transmite mediante tramas TDM (*Time Division Multiplexing*) por difusión. TDM es la técnica de transmisión más usada en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. Las tramas se envían en dos longitudes de onda, siendo $\lambda=1480\text{-}1500\text{ nm}$ en el enlace descendente y $\lambda=1260\text{-}1360\text{ nm}$ en el ascendente, con unas velocidades de 2,488 Gbps y 1,244 respectivamente. El alcance máximo está limitado por la ecuación (4) descrita en el capítulo 2 del presente proyecto, cuyos cálculos se realizaron en base a una red de fibra óptica con un número razonable de empalmes, conectores y *splitters*.

Por último, las redes GPON admiten *splitters* de hasta 128 divisores ópticos por cada transmisor (OLT), y cada una de estas salidas, otro factor máximo de división de otros 64. Pero no es recomendable llegar a tanto por la atenuación excesiva se prefiere colocar más OLT redistribuidos estratégicamente para aumentar la cobertura. [15]

4.2.3. Otras cuestiones de diseño

Además del despliegue FTTH, el diseño debe determinar cierta información que afectará en mayor o menor medida, al proceso:

La red se construirá pensando en la multioperatividad. Esto quiere decir que la red debe estar preparada para ofrecer cobertura para varios operadores de cable distintos, y cada operador tendrá sus propios recursos. Sin embargo, todo el cableado será común para todos ellos, independientemente del servicio prestado.

En la medida de lo posible, se aprovecharán las canalizaciones existentes para la acometida de cables. No obstante, en un medio rural es difícil encontrar canalizaciones subterráneas, por lo que los despliegues suelen realizarse a través de acometida en fachadas, o postes.

El sistema debe además cubrir el 100% de las viviendas de la zona, independientemente de si optan abonarse o no a los servicios ofrecidos por cada operador. Aunque esta cobertura debe ser total, el índice de penetración de usuarios con servicio derivará de los estudios socioculturales que se realicen en la zona, y determinará directamente la relación final de división.

4.3. Planificación y desarrollo del proyecto

Previa al diseño se debe realizar la planificación del proyecto. La planificación intenta detallar aquellos aspectos no contemplados en el diseño y que son relevantes para la implantación del proyecto, tales como las circunstancias propietarias de la red y de las viviendas, la disponibilidad de la red y conductos cedidos, etc. Además, coordina cada uno de los procesos anteriores con el diseño, las delineaciones y la obtención de materiales para evitar que se acumule el trabajo y lograr una gestión eficiente del tiempo.

El primer lugar y antes del diseño, deben tenerse en cuenta las circunstancias propietarias tanto de la red troncal como de las viviendas particulares. La Comisión de

Mercado de las Telecomunicaciones establece que el operador dominante que disponga de infraestructura óptica debe ceder parte de sus cables a operadores minoritarios, para preservar la competencia. Debido a esto, es necesario obtener cesión de permisos de instalación de las autoridades competentes. En cuanto a los derechos de las viviendas propietarias, pueden obtenerse al tiempo que se realizan los replanteos, a la vez que se anota información relevante para los ingenieros encargados del diseño, si fuera necesario. En la mayoría de casos basta con la firma del presidente de la comunidad sobre un documento de autorización.

Según vayan llegando los replanteos y permisos se procede al diseño del proyecto en sí, aunque no es necesario poseer todos los permisos para empezar a diseñar; podrán realizarse los diseños a medida que los replanteos vayan llegando. Una vez se obtenga suficiente número de replanteos se procede a diseñar la red. El diseño incluye los planos y documentos necesarios para realizar la instalación, así como el cálculo de los costes y la supervisión de la obra. En este ejemplo de diseño únicamente se contempla la red de distribución a cada una de las viviendas y la instalación de una fibra a cada vecino desde la arqueta comunitaria.

Para administrar todas estas etapas y realizar un seguimiento de cada uno de los procedimientos, se recurre a diagramas temporales o cronogramas.

4.3.1. Cronograma del proyecto

Un cronograma gestiona el tiempo empleado en cada una de las fases del proyecto, de tal forma que refleja de la forma más fiel posible los tiempos de ejecución del mismo. Este cronograma incluye tanto el diseño del proyecto como replanteos y estudios socioculturales, hasta la instalación final de las fincas, pasando por el diseño de ingeniería del mismo.

Se ha estimado una duración total de la construcción de toda la red de unas 14 semanas durante las cuales la obtención de permisos ocupa una gran parte, debido a que deben considerarse los permisos individuales de cada finca junto con los relativos a la canalización urbana. De todo este tiempo, el diseño del proyecto ocupa un intervalo muy reducido, ya que el resto de barrios y comunidades deberá contar con su

propio diseño individual. A continuación se muestra el cronograma general estimativo de toda la red.

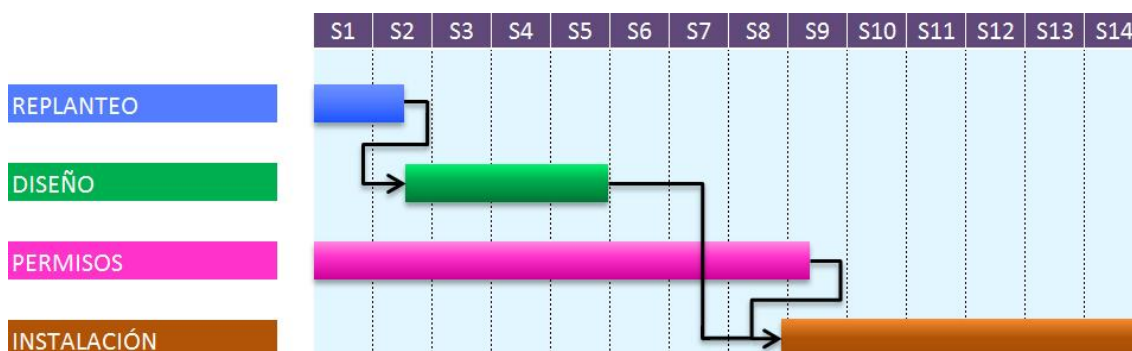


Figura 4.3: Cronograma del proyecto

Una conclusión inmediata que se puede extraer observando el cronograma, es que no hay por qué esperar a la concesión de todos los permisos para empezar a diseñar, sino que pueden obtenerse según se vayan realizando los diseños.

4.4. Diseño del proyecto

El diseño se dividirá en varios apartados para explicar cada una de las partes del diseño de forma más específica. Cada uno de estos apartados irá desarrollando el diseño progresivamente desde una base teórica hasta contenido más práctico.

4.4.1. Características base de la red

Antes de empezar con el diseño propiamente dicho, es necesario concretar aspectos generales de la red estrictamente necesarios para poder llevar a cabo un estudio específico de cada parte.

Por toda el área de escasa población se ha distribuido una red de alimentación, encargada de suministrar acceso a varias de las subredes de distribución con sus correspondientes nodos en cada edificio. Esta red urbana está desplegada aprovechando una canalización subterránea situada bajo la calle. Asimismo está compuesta por un cable de 64 FO monomodo monofibra formado por 8 tubos de 8 fibras cada uno. Pese a que habría bastado con un cable de 32 FO, se ha optado por uno de 64 FO para unificar el equipamiento y no encarecer los costes del material. De estos

8 tubos, 3 están actualmente instalados y ofreciendo servicio, por lo que las fibras de alimentación disponibles comienzan en el 4º tubo.

Al igual que con los cables, los divisores han sido escogidos optando por preservar el mismo criterio que en el resto de subredes en otras áreas, por lo que se conservará el criterio de división de 1:64. Esta relación 1:64 es la más recomendada en redes FTTH para evitar demasiadas divisiones de señal y demasiada atenuación por divisor, puesto que a mayor número de divisiones menor potencia de la señal enviada por el OLT llegará a los ONT de los usuarios. La división se realizará en dos etapas, conectando una fibra de la red de alimentación a un divisor 1:4 situado en cada nodo de distribución, y cada una de estas fibras irá conectada a su vez a un divisor 1:16, situado en nodos de dispersión en cada edificio o edificios.

Para economizar recursos, la red de alimentación está desplegada bajo un diseño monofibra bidireccional, es decir, se multiplexa bajo la misma fibra el canal de datos ascendente y el descendente, según las longitudes de onda correspondientes a los servicios de vídeo, voz y datos especificadas en el estándar GPON detallado en la sección 4.2.2 de este capítulo. La multiplexación se realizará a través de un multiplexador óptico encargado de dicha funcionalidad situado en el OLT, situado a su vez en un nodo de alimentación, y cuyo diseño e instalación corresponde a la parte activa de los operadores, no siendo objeto por tanto de este diseño.

La red de alimentación está conectada a una central de acceso que provee servicio a todo el área. Está emplazada en el punto más cercano al resto de nodos de alimentación de las poblaciones circundantes. En la central se situarán los elementos activos de la red, así como los bastidores de distribución de fibra procedentes de la red urbana. La central debe albergar espacio suficiente para la instalación de varios OLT debido a los propósitos de multioperabilidad de la red, cada uno perteneciente a un operador distinto. Esto implica intrínsecamente el despliegue en paralelo de varias redes PON, una para cada operador, pero multiplexando sus servicios a través del mismo canal físico, y por lo tanto, a través de las mismas fibras.

4.4.2. Replanteo

Para obtener datos sobre el terreno y la localización del proyecto se elabora un replanteo. En este no solo se contrasta la información previa de la que se disponía al inicio del proyecto, sino que también se amplía dicha información con nuevos datos más concretos recogidos en campo. Toda esta información incluye datos de partida respecto a la cartografía, características de las viviendas, posibles canalizaciones existentes en la zona, arquetas de acceso para la red urbana y la red de acceso, cables ya instalados, etc.

El replanteo se obtiene mediante la llamada acta de replanteo, un documento elaborado por un técnico o ingeniero perteneciente a la contrata de ingeniería y certificado por él mismo y el cliente final que firma el permiso, y que marca el inicio de diseño y ejecución del proyecto.

Tras haber realizado el replanteo correspondiente, quedan reflejados los siguientes datos respecto al área relativa a nuestro proyecto:

- Los bloques de viviendas están consecutivamente alineados uno tras otro. Cada uno contiene 4 plantas y 4 viviendas por planta. En la acera de enfrente se ubican las tres fincas unifamiliares, también situadas consecutivamente una tras otra.
- Las viviendas unifamiliares poseen recinto de telecomunicaciones (R.I.T.I.) con espacio libre para instalación del equipamiento pasivo de la red en cada edificio, mientras que las viviendas unifamiliares no poseen instalación telefónica canalizada y se les suministra este servicio mediante un poste.
- La canalización ICT de cada bloque de viviendas se encuentra en un grado bajo de ocupación, inferior al 30% en todos los edificios.
- El primero de los bloques de viviendas está situado a una distancia de tan solo 20 m de un nodo de distribución, mientras que la primera de las fincas está separada unos 28 m. El nodo de distribución contiene una caja de empalme de 20 bandejas con un divisor 1:4 instalado que tiene ocupadas solo dos de sus salidas, mientras que de la red de alimentación solo hay ocupadas 5 de las 8 primeras fibras del primer tubo, quedando el resto libres para conectarlas.

- Además de teléfono, también se comprueba la existencia de canalización eléctrica de baja tensión compartida con telecomunicaciones alrededor de todas las fincas. Esta última canalización cuenta con un total de 7 arquetas distribuidas a lo largo de su recorrido, y posee una capacidad de ocupación inferior al 22%.

Con todo esto se elabora el anteproyecto, constituido por un boceto inicial y básico de la red, en el que quedan determinadas las características generales del sistema. De esta forma se decide de forma provisional (hasta bien adentrada la fase de diseño) la infraestructura de la red óptica, la ruta subterránea de la red de distribución, las arquetas de acceso a las fincas, y las canalizaciones de ICT para el acceso a las viviendas.

4.4.3. Diseño de la red de distribución a las viviendas

Tras haber recibido el replanteo se procede al diseño de la instalación de fibra y la elaboración de los correspondientes planos. Dado que el objetivo del proyecto es simular el diseño desde el punto de vista de una subcontrata de ingeniería, se da por instalada la red de alimentación, siendo nuestra labor el despliegue de fibra perteneciente a la red de distribución.

La red de acceso a las fincas está delimitada por una caja de registro subterránea (CR1036) donde se produce la intersección con la red urbana. En ella se sitúan los divisores de primera etapa que distribuyen los servicios de las tres fibras a cada finca. En el otro extremo esta red de acceso está delimitada por cajas de empalme situados en cada R.I.T.I., que contienen los divisores de segunda etapa y desde donde parten las verticales a cada edificio.

Aunque en los primeros diseños de redes FTTH se instalaban los divisores de primer nivel en la central de alimentación, junto al equipamiento activo, cada vez es más habitual situar la primera etapa de división en las cajas de registro, al inicio de las redes de distribución. Esto conlleva multitud de ventajas, como una mayor reserva de las fibras para futuros servicios y ampliaciones y un mayor índice de penetración.

El primer paso es calcular el número de divisores de primera etapa necesarios en la caja de registro por la que pasa la red de alimentación. Esta cantidad depende de cuántos divisores de segunda etapa vayan a ser instalados, que a su vez depende del número de viviendas a las que se pretende dar cobertura. Los bloques de viviendas tienen 4 pisos y 4 viviendas por piso, lo que arroja un total de 16 viviendas por bloque. Al ser los divisores de segunda etapa 1:16, uno solo de ellos cubre un bloque de viviendas por completo. En cuanto a las fincas unifamiliares se les distribuye una fibra dedicada, por lo que un solo divisor bastará para las tres, como se puede observar en la tabla siguiente:

Finca	Viviendas	Fibra dedicada	Divisor de 2º etapa asociado	Fibra distribución	Divisor de 1º etapa asociado
Mantuano 12	16	IN371	CTO31 – 1 div 1:16	108 -[24 F.O. PKP]	CR 1036 – 1 div 1:4
Mantuano 14	16	IN372	CTO32 – 1 div 1:16		
Mantuano 16	16	IN373	CTO33 – 1 div 1:16		
Mantuano 13	1	110 -[1 F.O. PKP]	CTO34 – 1 div 1:16	109 -[8 F.O. PKP]	
Mantuano 15	1	111 -[1 F.O. PKP]			
Mantuano 17	1	112 -[1 F.O. PKP]			

Figura 4.4: Número de viviendas y divisores asociados a cada finca

En cuanto a los divisores de primera etapa, se dedica una salida a cada entrada de los divisores de segunda etapa instalados. En total harán falta 3 divisores de 1:16 para cada bloque de viviendas y otro más para todas las fincas, lo que suman 4 divisores 1:16; por lo tanto, con un solo divisor 1:4 bastará para cubrir todas las viviendas.

Todas las conexiones entre fibras y divisores se realizan en el interior de unos concentradores de fincas o cajas de registro. Los divisores de primera etapa se sitúan en arquetas de comunicaciones, ubicadas en la instalación urbana o en canalizaciones subterráneas, mientras que para los divisores de segundo nivel se habilitan unas cajas de registro más pequeñas, (llamadas Cajas Terminales Ópticas, véase más adelante). Ambas contienen los empalmes entre divisores y fibra, realizados mediante latiguillos de fibra y almacenados cada uno en bandejas de manera organizada para facilitar la

manipulación posterior, de forma que ciertas bandejas queden reservadas para divisores, otras para empalmes, otras para fibra sobrante, etc.

Los divisores 1:4 de primera etapa se sitúan en la caja de registro CR 1036, del que parte un cable de 32 fibras hacia la siguiente caja de registro CR 1037, situada en una arqueta urbana. Una vez allí, la fibra sale al exterior y se divide en dos cables: uno de 24 fibras (3 tubos \times 8 fibras) para cada una de las 3 cajas terminales ópticas en donde se sitúan los divisores 1:16 de segunda etapa. Tras alcanzar el segundo nivel de división, parte un cable riser para distribuir cada fibra individual a cada usuario.

Para las fincas unifamiliares habría bastado con un cable de 4 fibras, pero por conservar los mismos criterios de instalación en todos los despliegues, únicamente se dispone de un cable de 8 fibras. Tras salir de la arqueta CR 1037 se cruza la calle mediante un cable aéreo entre postes y se distribuye a cada finca mediante otro cable aéreo después de atravesar un divisor 1:16 en una caja de registro amarrada al poste. Al carecer de canalizaciones subterráneas e instalación ICT, el cable aéreo es el mejor método para dar cobertura a las fincas unifamiliares.

El criterio utilizado para el conexionado de todo el sistema ha sido diseñado para permitir el servicio de varios operadores utilizando el mismo canal, y la mayor parte de equipamiento disponible. Cada salida de divisor 1:4 instalado se conecta a la entrada de un divisor 1:16, utilizando la primera fibra de un tubo de 8 fibras, dejando las demás sin conectar. De este modo los operadores podrán desplegar sus propias redes, instalando sus propios divisores en la caja de empalmes y empalmarlas a estas fibras dejadas sin conectar a propósito.

Todo el conexionado se puede apreciar en la tabla siguiente:

Fibra de alimentación	Divisor de primera etapa	Fibra de distribución	Divisor de segunda etapa	Fibra de dispersión
CRT05 -[64 F.O. PKP] fibra #25(4º tubo, 1º fibra)	CR 1036 – 1 div 1:4	108 -[24 F.O. PKP] fibra #1(1º tubo, 1º fibra)	CTO31 – 1 div 1:16	Canalización principal del edificio
		108 -[24 F.O. PKP] fibra #9(2º tubo, 1º fibra)	CTO32 – 1 div 1:16	Canalización principal del edificio
		108 -[24 F.O. PKP] fibra #17(3º tubo, 1º fibra)	CTO33 – 1 div 1:16	Canalización principal del edificio
		109 -[8 F.O. PKP] fibra #1(1º tubo, 1º fibra)	CTO34 – 1 div 1:16	110 -[1 F.O. PKP] 111 -[1 F.O. PKP] 112 -[1 F.O. PKP] (13 salidas del divisor libres)

Figura 4.5: Empalmes de fibras con sus divisores

Se puede consultar el plano de la red de distribución a las viviendas, en el anexo.

4.4.4. Diseño de interior de viviendas unifamiliares

Una vez determinados los cables de distribución a las fincas, es necesario definir la terminación concreta de dichos cables. La red de dispersión que discurre a lo largo de la vertical del edificio comienza en el R.I.T.I. de cada edificio, justo donde finaliza la red de distribución, para ramificarse en cada planta separando fibras para cada vivienda.

La ubicación de este recinto debe reunir ciertas propiedades. En primer lugar, debe situarse en un punto lo más céntrico posible dentro la finca, de forma que se reduzca al mínimo la longitud del cableado horizontal dentro del edificio. Además, debe tener las dimensiones necesarias para contener todas las fibras del tendido vertical, las fibras de acceso y los divisores de segunda etapa. Y por último, debe tener un fácil acceso a la arqueta de comunicaciones desde donde penetra la red de distribución hacia el interior del edificio. Esta condición es indispensable, ya que si el R.I.T.I. está situado de tal manera que el cable de acceso TKT no es viable de instalar, no se podrá alimentar a todas las viviendas de la finca.

El R.I.T.I. está normalmente constituido por una sola caja de empalmes, técnicamente denominada caja terminal óptica (CTO). Se trata de un armario, o concentrador de finca, en el cual mediante bandejas se almacenan los divisores de segunda etapa, las terminaciones de fibra (tanto entrantes como salientes), y los empalmes que unen a ambos. Cada empalme, latiguillo de fibra o divisor se almacena en una bandeja de la CTO y se irán realizando los empalmes conforme se abonen usuarios al servicio, pero el cable vertical se despliega en el momento de la instalación.

Tras haber instalado la CTO, se tiende un cable vertical que sube a través de la canalización ICT o por cualquier otro lugar contemplado en el diseño hasta el último piso del edificio. Durante su trayecto, se instalan unas cajas denominadas cajas de derivación en cada planta, que actúan a modo de registro y permiten realizar el sangrado del cable vertical, para dedicar una fibra a cada vivienda. La instalación del ONT y su conexión con la correspondiente fibra se realizará en el momento que el propietario decida abonarse.

En las fincas que carezcan de ICT, la caja de empalme se deberá situar en la fachada del edificio, azoteas, o bien amarrada a un poste si se opta por un cable aéreo. Para ello se cuenta con CTOs para exterior, las cuales son impermeables y ofrecen una mayor protección contra un entorno abierto. En nuestro modelo, 3 edificios poseen CTOs de interior con un divisor en cada una de ellas; pero las 3 fincas unifamiliares poseen acceso por cable aéreo, para lo que es preciso amarrar una CTO de exterior a un poste para realizar los empalmes.

Puede consultarse el plano de la instalación de interior del edificio Camarena 12 en el anexo. Este plano es análogo a los de sus edificios contiguos.

4.5. Instalación del proyecto

En último lugar, y tras haber realizado el diseño del proyecto, se procede a la instalación en campo. Este proceso contempla todos los aspectos técnicos sobre obra civil, tendido de cables, etc., así como permisos de obra, permisos a los propietarios y toda la burocracia relativa a un proyecto de tal envergadura.

Todos estos procedimientos y recomendaciones técnicas quedan detallados en el capítulo 3 del presente proyecto, por lo que no es necesario enumerarlos nuevamente. No obstante, el presupuesto final y el cálculo de todos los costes son de vital importancia y dado que no fueron explicados anteriormente se detallarán a continuación.

4.5.1. Costes del proyecto

En el presupuesto general de toda la red se incluyen los costes de los materiales utilizados, la mano de obra empleada, y los costes de los diseños de ingeniería e instalación, asistencia técnica y dirección de obra propios de cualquier proyecto. Sin embargo, y teniendo en cuenta que se trata de un proyecto ficticio, no se incluye el beneficio industrial propio de la empresa ejecutora y redactora del proyecto.

En la tabla 4.6 se detallan todos y cada uno de los costes asociados.

Objeto	Ud	Bloques de viviendas	Fincas unifamiliares	Red de distribución	Total unidades	Precio unitario	TOTAL
Canalización de fibra óptica	M			20	20	1,75 €	35,00 €
Despliegue de fibra óptica en interior	M	45			45	5,20 €	234,00 €
Preparar extremo cable de FO	Ud	3	3	2	8	43,56 €	348,48 €
Preparar extremo cable de FO (con sangría)	Ud	24		1	25	47,94 €	1.198,50 €
Preparar tubo para cable de FO	Ud			1	1	2,90 €	2,90 €
Preparar puntas en cable riser en última planta	Ud	3			3	11,00 €	33,00 €
Instalación caja de empalme	Ud			4	4	39,93 €	159,72 €
Instalación caja de derivación por planta	Ud	15			15	32,81 €	492,15 €
Protector del empalme	Ud	51	4	4	59	1,20 €	70,80 €
Instalación divisor 1:16 en CTO	Ud			4	4	3,59 €	14,36 €
Instalación divisor 1:4 en caja de registro	Ud			1	1	5,17 €	5,17 €
Empalme FO monomodo	Ud	51	4	4	59	3,92 €	231,28 €
Instalación de registro de terminación en última planta	Ud	3			3	148,32 €	444,96 €
Suministro e instalación de tubo para cable	M			1	1	12,38 €	12,38 €
Material							
Cable 32 FO monomodo PKP marca Nectral	M			20	20	1,70 €	34,00 €
Cable 24 FO monomodo PKP marca Nectral	M			39	39	1,58 €	61,62 €
Cable 16 FO monomodo riser marca Symbian	M	45			45	1,45 €	65,25 €
Cable 8 FO monomodo PKP marca Nectral	M			19	19	1,36 €	25,84 €
Cable 1 FO monomodo marca Symbian	M		51		51	1,40 €	71,40 €
Caja de empalme CTO 12 bandejas interior	Ud	3			3	289,30 €	867,90 €
Caja de empalme CTO 4 bandejas exterior	Ud			1	1	366,50 €	366,50 €
Divisor óptico 1:4 entradas/salidas frontales	Ud			1	1	142,50 €	142,50 €
Divisor óptico 1:16 entradas/salidas frontales	Ud	3	1		4	136,20 €	544,80 €
Mano de obra							
Replanteo del proyecto junto a desplazamientos	Ud				2	146,34 €	292,68 €
Diseño e ingeniería del proyecto	Ud				85	31,42 €	2.670,70 €
Gestión de permisos	Ud				6	130,00 €	780,00 €
Asistencia técnica y dirección de obra del proyecto	Ud				45	41,00 €	1.845,00 €

Figura 4.6: Presupuesto del proyecto

Conclusiones

Durante el desarrollo del presente proyecto se ha abordado desde diferentes vías la instalación de una red de acceso mediante fibra óptica. Este estudio arroja una extensa comprensión de la fibra óptica en diferentes ámbitos, siendo estos:

- Estudio teórico, y propiedades técnicas de la fibra óptica.
- Técnicas de manipulación de la fibra óptica, y características de las aplicaciones para las cuales la fibra óptica se ofrece como una solución eficaz y fiable.
- Planificación y diseño de una red de acceso basada en fibra óptica.

En primer lugar, es preciso realizar un estudio teórico sobre las características de la fibra óptica, junto con las propiedades de los elementos activos y pasivos que interactúan con ella, para poder comprender la tecnología en la que se basa y así ofrecer una solución final acorde a las necesidades que se presenten.

De esta forma, se concretan las características y el funcionamiento de diversos elementos, tanto activos como pasivos, que intervienen en una red de acceso de fibra óptica; tales como divisores ópticos, amplificadores, cajas de empalme, etc. Dichos elementos son necesarios para la implementación de la red, asegurar su fiabilidad, o dotarla de maniobrabilidad, extenderla o ampliarla.

Tras un vistazo general a la tecnología de fibra óptica, se procede a estudiar las características y topologías de las redes de acceso basadas en la misma, junto con los requisitos de cara al diseño de la red y a la gestión de proyectos. Dicho estudio abarca desde los diferentes niveles de subredes interconectadas entre sí hasta estudios de mercado, cuestiones legales, y los primeros pasos en las fases de diseño con balances de enlace, elección de materiales y replanteo. El despliegue de una red de acceso no deja de ser un proyecto de telecomunicación y, como tal, resolver estas cuestiones no deja de ser imprescindible para el desarrollo del mismo.

Antes de proceder al diseño de una red de fibra óptica, se considera oportuno explicar con detalle ciertos aspectos prácticos del proyecto: como los criterios de instalación de fibra en diferentes tipos de viviendas o las técnicas de despliegue de cable, según por el medio que atraviesen. En ingeniería es habitual valerse de proyectos anteriores para asegurar un desarrollo eficaz y sin incidencias de futuras instalaciones.

Con todo lo anterior, ya se dispone de información suficiente para el diseño y simulación de una red de acceso, en la que se opta por la topología de red FTTH. Para ello se recrea un escenario de despliegue basado en un escenario cotidiano (como un bloque de viviendas o una vivienda unifamiliar), en el que los estudios socioculturales estadísticos para analizar la viabilidad de la red han arrojado resultados positivos. La red, además, debía estar capacitada tanto para ofrecer servicio a los usuarios como alquilar la red a otros operadores de telecomunicaciones.

Con esta información de partida se puede elaborar un proyecto ficticio para el diseño de la cobertura de fibra óptica a las fincas desde la red troncal urbana, y también la infraestructura de interior de los bloques de viviendas. Este proceso se llevó a cabo en diferentes etapas:

- Elaboración de un replanteo.
- Diseño del despliegue de fibra óptica hasta el hogar.
- Diseño de los planos de instalación.
- Determinación de las conexiones y los empalmes.
- Gestión temporal del proyecto mediante cronogramas.
- Presupuesto del proyecto.

Aunque el diseño de una red FTTH contempla muchos más aspectos de los estudiados en el capítulo 4, el presente proyecto tomó como objetivo el diseño y planificación correspondientes a una sección de un área de escasa población donde la instalación se tomó como viable. En un estudio más extenso y completo, habría sido necesario contar con un estudio de viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta estudios socio-estadísticos; así como un amplio diseño de la red de alimentación de

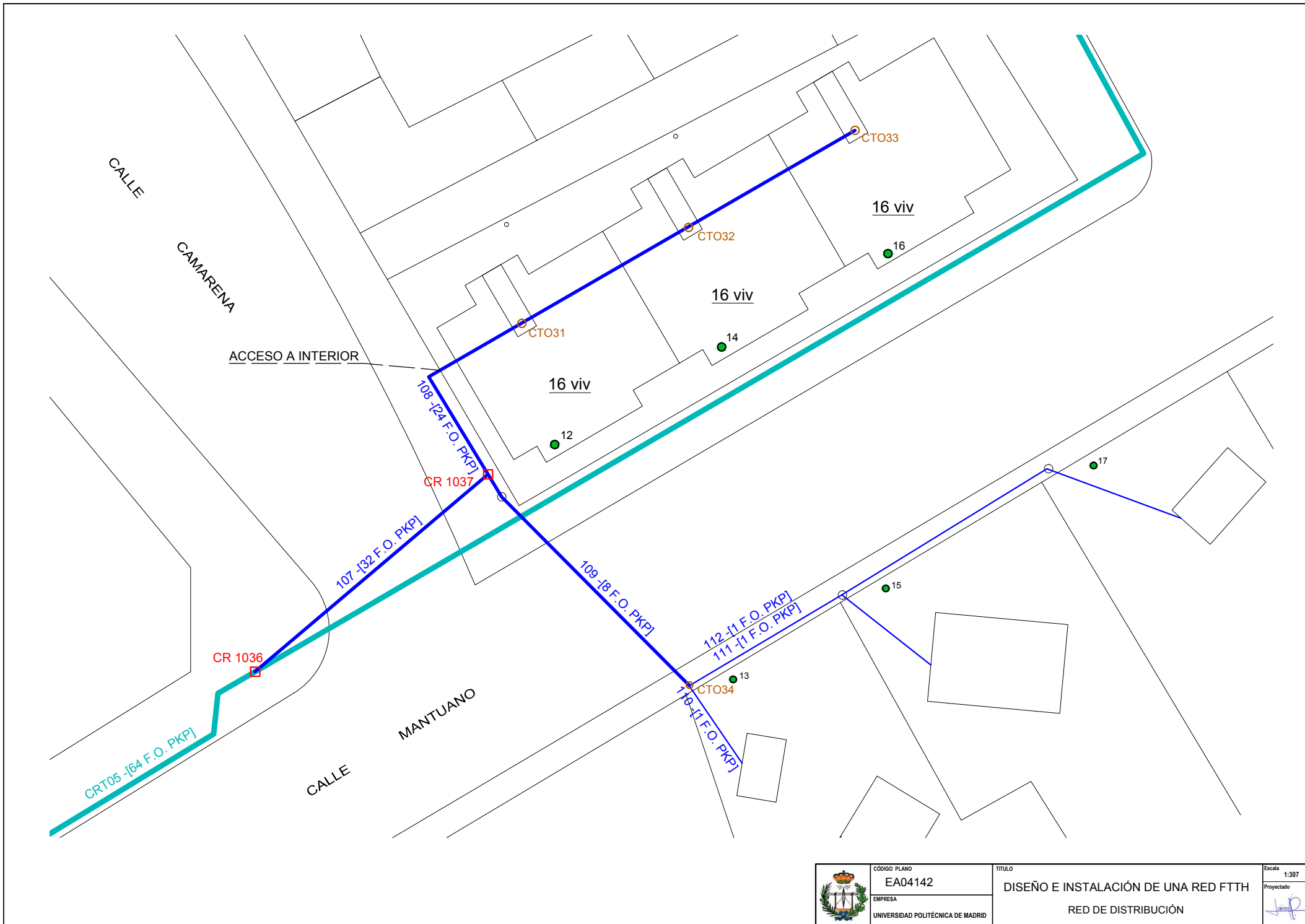
acuerdo a las necesidades de los clientes o del tipo de servicio que se va a ofrecer. También se debería incluir una gestión de permisos de obra y del resto de burocracia y considerar algunos aspectos técnicos, como la selección del equipamiento activo del sistema, balance óptico de toda la red y criterios de ordenación y etiquetado de la fibra y empalmes.

En ocasiones, los operadores se muestran recelosos a desplegar redes de fibra óptica debido al desembolso inicial que implica el despliegue de una red de estas características. No obstante el alquiler de la red a otros operadores genera unos beneficios que compensa este desembolso inicial y alienta a las grandes compañías a invertir en esta tecnología.

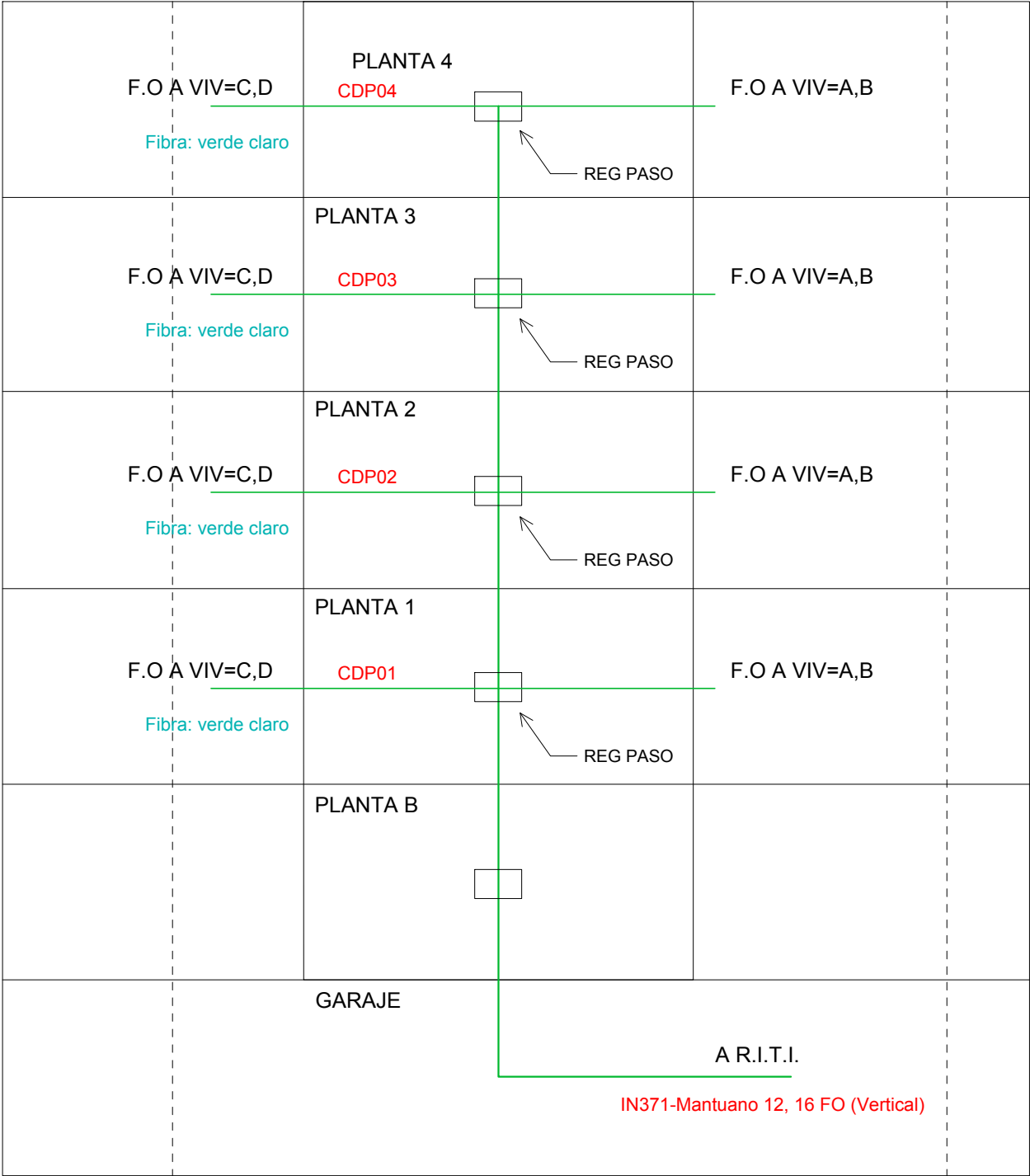
Gracias a este proyecto y a otros estudios, se ha demostrado que la tecnología de fibra óptica es apta para las crecientes demandas de servicios como internet de banda ancha, o televisión digital en alta definición. La fibra óptica tiene mucho que ofrecer a las telecomunicaciones, y cada vez es más habitual encontrar redes de fibra óptica como parte de un servicio de telecomunicaciones, tanto como para particulares como empresas.

Anexo I

En el presente apartado se muestran algunos de los planos a delinear en el proyecto de diseño de la red FTTH. Debido a que varias de las fincas son muy semejantes, se ha optado por no representar planos de todas ellas, mostrando solo los más representativos.



MANTUANO N.12



Bibliografía

- [1] Alejandro Carballar, *Comunicaciones Ópticas: "Introducción a la Fotónica de Comunicaciones"*. Dpto. de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sevilla, 2002.
- [2] M^a Carmen España Boquera, *Comunicaciones Ópticas*. Ediciones Díaz de Santos, S. A. Madrid, 2005.
- [3] Carlos Janer, *Dispositivos para comunicaciones ópticas*. Dpto. de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sevilla, 2009.
- [4] P. Martín-Ramos, J. Martín-Gil, P. Chamorro-Posada, *Amplificadores de fibra óptica dopada con Erblio e Iterbio (EDFAs y YEDFAs)*. Dpto. de Teoría de la Señal e Ingeniería Telemática, y Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal.
- [5] PON (*Passive Optical Networks*). En TELNET Redes Inteligentes <http://www.telnet-ri.es> , 2013
- [6] Inma Olías, *Redes de Fibra Óptica*. En transparencias, <http://www.slideshare.net/ioliasa/redes-de-fibra-optica>.
- [7] José Capmany Franco, Beatriz Ortega Tamarit, *Redes ópticas*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- [8] Primeras pruebas de campo en Pozuelo de Alarcón y Campamento (Madrid), adslzone.net
- [9] The CENELEC guideline issued by TC86A, *FTTH Infrastructure*. VIFOM.org, 2006.
- [10] Fco. Javier Zaragoza Martínez, *Planes de obra*. Editorial Club Universitario.
- [11] mercedesgomez, *Cuando la fibra óptica trepa por las fachadas*. CNMC blog.

- [12] OPTRAL S.A., *Estructura de los cables (Holgada y Ajustada)*.
www.c3comunicaciones.es/
- [13] Emilio Félix Molero, *Infraestructuras comunes de telecomunicación*. McGraw-Hill, 2010.
- [14] Internacional Telecommunication Union. *Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit GPON*. Recomendación UIT-T G.984.5 (05/2008)